

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 184**

51 Int. Cl.:

H04B 7/19 (2006.01)

H04B 7/195 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2015 E 15832819 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 3224966**

54 Título: **Sistema de comunicación por satélite que produce interferencia reducida**

30 Prioridad:

24.11.2014 US 201462083412 P
19.02.2015 US 201514626360

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

28.06.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LINDSAY, MICHAEL y
WYLER, GREGORY THANE

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 718 184 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de comunicación por satélite que produce interferencia reducida

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a satélites de comunicación que orbitan la Tierra en general, y, más particularmente, a satélites de comunicación que comparten espectro de radio con otros satélites de comunicación sin interferencia mutua.

10

Antecedentes de la invención

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 ese momento, supuso un logro tecnológico extraordinario. Fue diseñado, construido y hecho funcionar por Bell Telephone Laboratories, Holmdel, NJ, EE. UU.

15

Los satélites de comunicación reciben y transmiten señales de radio desde y hacia la superficie de la Tierra. Para Telstar, siendo el primer y único satélite de comunicaciones de su tiempo, no hubo problemas de interferencia entre sus señales de radio y señales de radio asociadas con otros satélites de comunicación. Pero esta situación cambió rápidamente a medida que la tecnología avanzaba y crecía la demanda de servicios de comunicaciones por satélite.

20

En la actualidad, la demanda de todas las formas de comunicaciones inalámbricas ha alcanzado nuevos máximos y el espectro de radio se ha convertido en un bien muy valioso. En enero de 2015, como parte de una subasta gubernamental, cincuenta MHz de espectro de radio obtuvieron un valor sin precedentes de 39,5 mil millones de dólares estadounidenses. Por tanto, sería una ventaja significativa poder establecer un sistema de comunicación por radio que no requiera espectro dedicado.

25

Cuando se trata de satélites de comunicación, los denominados satélites geoestacionarios son un tipo bien establecido de satélites que han brindado una variedad de servicios útiles durante muchas décadas. Los satélites geoestacionarios orbitan la Tierra en un plano que interseca la Tierra en el ecuador (el "plano ecuatorial"). Orbitan a una distancia de la Tierra de manera que el período de su órbita es exactamente un día sideral. La órbita geoestacionaria es un círculo y, por tanto, los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra exactamente a la misma velocidad que la Tierra rota alrededor de su eje. Como resultado, cada satélite geoestacionario aparece, desde la Tierra, en una posición fija en el cielo, como si estuviera montado en una torre extremadamente alta.

30

Esa torre virtual es, de hecho, muy alta: de aproximadamente 36.000 km, o casi seis veces el radio de la Tierra. La gran distancia entre los satélites geoestacionarios (abreviados comúnmente "GEO") y la superficie de la Tierra tiene varias consecuencias indeseables, incluyendo la necesidad de una mayor potencia de la señal transmitida, la dificultad para generar pequeñas huellas de transmisión y un molesto retraso en las comunicaciones, entre otros. Para determinadas aplicaciones, incluidos los servicios de internet, podrían ser más adecuados satélites que orbitan más cerca de la superficie de la Tierra.

35

La figura 1 representa un satélite en una órbita terrestre baja (abreviado comúnmente "LEO"). Si bien no existe una norma internacional para el significado exacto de los elementos para designar el tipo de órbita como "GEO", "LEO" y "MEO" (que significa "órbita terrestre media"), se utilizan comúnmente en la técnica. En general, se supone que las órbitas LEO son órbitas donde el satélite no orbita más de aproximadamente 2000 km sobre la superficie de la Tierra. En la figura 1, la órbita LEO está representada por una línea circular discontinua como órbita polar LEO 150. Debido a que la órbita es circular, el satélite orbita la Tierra 110 a una distancia aproximadamente constante de la superficie de la Tierra. En la figura 1, esa distancia es pequeña en comparación con el radio de la Tierra; en la escala de la figura, corresponde a aproximadamente 900 km.

40

El tipo de órbita LEO representada en la figura 1 se conoce como una órbita "polar" porque pasa sobre el Polo Norte y el Polo Sur. Una ventaja de las órbitas polares es que el satélite pasa sobre todas las latitudes. A medida que la Tierra rota (mientras el plano de la órbita permanece aproximadamente sin cambios), el satélite pasará por diferentes zonas de la Tierra. Con un período orbital elegido apropiadamente, puede hacerse que el satélite pase sobre cada lugar de la Tierra, después de un número de órbitas suficientemente grande. Por esta razón, las órbitas polares (o las órbitas casi polares) a menudo se eligen para satélites topográficos.

45

La figura 2 representa el mismo satélite LEO y la órbita del satélite de la figura 1, junto con una representación de un satélite geoestacionario con el fin de hacer hincapié en los diferentes tamaños orbitales, que están dibujados a escala. En la figura, el satélite GEO 230 orbita la Tierra 110 en el plano del ecuador terrestre 210. El plano está representado por una línea discontinua como el plano ecuatorial 220. Tal como predice la geometría, la órbita polar LEO 150 interseca el plano ecuatorial formando ángulos rectos. Hay dos puntos de intersección. En la técnica, los dos puntos de intersección entre una órbita y el plano ecuatorial 220 se conocen como "nodos". El Polo Norte está en un lado del plano ecuatorial 220, y el Polo Sur está en el otro lado. El satélite se desplaza a lo largo de su órbita en el sentido mostrado en la figura 2 como "101 sentido de movimiento". En uno de los nodos, pasa por el plano

50

55

60

65

ecuatorial 220 que va hacia el Polo Norte. Ese nodo se denomina comúnmente el nodo “ascendente”, mientras que el otro nodo se denomina conoce comúnmente el nodo “descendente”.

5 La nomenclatura de los nodos “ascendente” y “descendente” también puede definirse cuando el satélite 230 no es un satélite geostacionario y su órbita no está en el plano ecuatorial. Por ejemplo, el satélite 230 podría ser un satélite geosíncrono que orbita alrededor de la Tierra en el denominado plano estable de GEO que está inclinado, con respecto al plano ecuatorial, formando un ángulo de aproximadamente 7,3°. Para cualquier plano que pase por el centro de la Tierra, el Polo Norte se encuentra en un lado del plano y el Polo Sur se encuentra en el otro lado. A medida que el satélite se desplaza a lo largo de su órbita, en uno de los nodos pasa por el plano que va hacia el lado del plano donde se encuentra el Polo Norte. Ese nodo se denomina nodo “ascendente”, mientras que el otro nodo se denomina nodo “descendente”.

15 La figura 3 presenta una descripción más detallada del satélite LEO y su relación con la superficie de la Tierra debajo de él. En particular, muestra el caso en el que el satélite LEO es un satélite de comunicación. (En esta figura detallada y en muchas de las figuras posteriores, se han omitido los contornos continentales sobre la superficie de la Tierra para facilitar la comprensión). El satélite LEO 140 está equipado con una o más antenas de radio. Las antenas transmiten una o más señales de radio hacia la superficie de la Tierra 110. Tales transmisiones se muestran en la figura como transmisiones de radio 310. Las transmisiones de radio pueden recibirse por receptores ubicados sobre la superficie de la Tierra dentro de un área de cobertura determinada representada como el área de cobertura 320. Fuera del área de cobertura 320, se espera que las señales de radio procedentes del satélite sean demasiado débiles para una recepción adecuada; de hecho, las antenas de radio en el satélite pueden diseñarse deliberadamente para debilitar tales señales de radio con el fin de limitar la interferencia producida por esas señales a otros receptores fuera del área de cobertura 320.

25 La figura 4 muestra lo que sucede cuando el satélite GEO 230 es un satélite de comunicación que da servicio a una parte de la Tierra que se superpone al área de cobertura 320 (no se muestra explícitamente en esta figura). Al igual que el satélite LEO, el satélite GEO también está equipado con una o más antenas de radio que transmiten una o más señales de radio hacia la superficie de la Tierra. Dichas transmisiones se muestran en la figura como transmisiones de radio 410. Las transmisiones de radio se dirigen a una parte de la Tierra representada en la figura como área de cobertura 420.

35 El satélite LEO 140 se muestra en la figura 4 como muy cerca del área de cobertura 420; por tanto, aunque el área de cobertura 320 no se muestra explícitamente, el área de cobertura 320 se superpone claramente al área de cobertura 420, al menos en parte. Si las transmisiones de radio 410 y las transmisiones de radio 310 comprenden señales de radio en la misma parte del espectro de radio, existe la posibilidad de interferencia entre las transmisiones desde el satélite LEO y las transmisiones para el satélite GEO.

40 Según las reglas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), los satélites no geostacionarios (NGSO) como el satélite LEO 140 pueden usar el mismo espectro que los satélites GEO en determinadas condiciones. En particular, los satélites NGSO no deben interferir con los satélites GEO que utilizan las mismas frecuencias de espectro. Las normas de la UIT establecen directrices específicas sobre la cantidad de potencia de la señal de radio en el terminal de un satélite GEO que puede crearse sin necesidad de “coordinar” o hablar con el operador del satélite GEO y obtener su aprobación.

45 La figura 5 describe un posible escenario de cómo puede producirse una interferencia inaceptable por un satélite LEO a la señal procedente de un satélite GEO. Sobre la superficie de la Tierra 110, hay un receptor GEO 510 que está intentando recibir una señal de radio 520 de un satélite GEO. Sin embargo, el receptor GEO 510 está ubicado dentro del área de cobertura 320 donde las transmisiones de radio 310 procedentes del satélite LEO 140 comprenden señales de radio que podrían usar frecuencias que se encuentran dentro de la banda de espectro utilizada por el satélite GEO. Para empeorar las cosas, el satélite LEO 140 se encuentra a lo largo de la línea de visión entre el receptor GEO 510 y el satélite GEO. Por tanto, la ruta seguida por la señal de radio GEO 520 en su camino hacia el receptor GEO 510 pasa cerca del satélite LEO 140 y, desde el punto de vista del receptor GEO 510, tanto la señal de radio deseada 520 como las transmisiones de radio interferentes 310 llegan procedentes de la misma dirección. En estas condiciones, sin emplear más técnicas de mitigación y dependiendo de la densidad espectral de potencia de las transmisiones de radio interferentes 310, el receptor GEO 510 puede tener dificultades para lograr una buena recepción de la señal de radio 520.

60 La figura 6 representa una técnica utilizada comúnmente para mitigar el tipo de situación de interferencia representada en la figura anterior. En la figura 6, el satélite LEO 140 simplemente reduce el tamaño del área de cobertura 620 sobre la que proporciona servicios de comunicación. Con una reducción de este tipo, el receptor GEO 510 ahora está ubicado fuera del área de cobertura 620. Todavía es cierto que, desde el punto de vista del receptor GEO 510, la señal de radio deseada 520 llega procedente de la misma dirección que cualquier otra transmisión de radio interferente procedente del satélite LEO 140 que “se extiende” fuera del límite del área de cobertura reducida 620. Sin embargo, tal como ya se ha mencionado, las antenas de radio en el satélite LEO 140 pueden diseñarse de manera tal que las señales de radio que se extiendan fuera del área de cobertura 620 sean débiles. Las antenas pueden diseñarse de modo que esas señales sean tan débiles como sea necesario para satisfacer los límites de la

UIT.

¿Qué pasa con los receptores que están dentro del área de cobertura reducida 620? La figura 6 representa un receptor de este tipo como el receptor GEO 515. Está ubicado cerca del límite del área de cobertura reducida 620 y está intentando recibir la señal de radio 525 procedente del satélite GEO. Desde el punto de vista del receptor GEO 515, la señal de radio 525 deseada no llega desde la misma dirección que las transmisiones de radio interferentes procedentes del satélite LEO 140. Hay un ángulo distinto de cero entre las dos direcciones de llegada. Debido a este ángulo, el receptor GEO 515 puede discriminar mejor entre la señal de radio 525 y las transmisiones de radio 140. En otras palabras, gracias al ángulo, puede ser más fácil que la densidad espectral de potencia de las transmisiones de radio 140, tal como la recibe el receptor GEO 515, satisfaga los límites de la UIT. Naturalmente, cuanto mayor es el ángulo, mayor es el beneficio; por tanto, la posición del caso más desfavorable para un receptor GEO, dentro del área de cobertura reducida 620, es donde el receptor GEO 515 se representa en la figura 6, cerca del límite norte del área de cobertura reducida 620, donde el ángulo es más pequeño. Tal ángulo más pequeño se representa en la figura 6 como la separación angular 630. Debido a que la señal de radio 520 es sustancialmente paralela a la señal de radio 525, la separación angular 630 puede medirse en relación con cualquiera de las dos señales de radio, tal como se muestra en la figura.

La presencia de la separación angular 630 hace posible que el receptor GEO 515 logre una buena recepción de la señal de radio 525 deseada incluso en presencia de transmisiones de radio interferentes 610 del satélite LEO 140. Esto es cierto siempre que la separación angular 630 sea suficientemente grande. El tamaño que se necesita depende en gran medida de las características de la antena utilizada por el receptor GEO 515 para recibir la señal de radio 525. Resulta que los receptores basados en la Tierra de las señales de satélite GEO deben utilizar normalmente las denominadas antenas de alta ganancia. Dichas antenas muestran una excelente selectividad angular que les permite rechazar señales interferentes con una separación angular de tan solo algunos grados. Además, existen normas bien definidas para las características de las antenas receptoras GEO. Como resultado, un satélite LEO puede implementar una separación angular cuidadosamente elegida y tener la seguridad de no interferir con los receptores GEO.

La técnica ilustrada en la figura 6 puede implementarse fácilmente si las transmisiones de radio desde el satélite tienen la forma de múltiples haces independientes dirigidos en diferentes direcciones. En ese caso, el área de cobertura puede reducirse simplemente desactivando algunos de los haces. Sin embargo, hay varias desventajas. Una desventaja es que, naturalmente, al reducir el área de cobertura, se reduce la efectividad de un satélite. Puede dar servicio a menos terminales de comunicación sobre la superficie de la Tierra, y se reduce el volumen de tráfico que porta el satélite. Pero otra desventaja importante es que la técnica es de utilidad limitada. La situación representada en la figura 6 es aplicable a zonas de la Tierra en latitudes medias y altas. En la representación de la figura 6, el norte está arriba (igual que en las figuras anteriores) y el ángulo de la superficie de la Tierra corresponde a una latitud de 47°. La mayor parte de la población de la Tierra vive en esta latitud o por debajo de ella. Sin embargo, con la geometría de la figura 6, está claro que el área de cobertura a la que da servicio el satélite LEO 140 debe estar severamente restringida, si debe evitarse la interferencia con los receptores GEO. La situación empeora mucho en latitudes más bajas, tal como se ilustra en la siguiente figura.

La figura 7 muestra lo que sucede cuando se intenta la técnica de mitigación de interferencias de la figura 6 en latitudes más bajas. En particular, la figura 7 representa el satélite LEO 140 cuando su órbita 150 lo acerca al ecuador. La figura también representa al receptor GEO 710, que está intentando recibir la señal de radio 720 procedente de un satélite GEO. Está claro que la dirección de llegada de la señal de radio 720, tal como se recibe en el receptor 710 de GEO, es la misma que la dirección de llegada de las transmisiones de radio interferentes 712 procedentes del satélite LEO. La geometría es tal que esto es cierto incluso en el centro del área de cobertura 722. Ningún grado de reducción en el tamaño del área de cobertura 722 logrará una separación angular razonable entre la señal de radio 720 y las transmisiones de radio interferentes 712. La única forma para que el satélite LEO 140 satisfaga las reglas de la UIT es cesar todas las transmisiones, o potencialmente operar a una densidad espectral de potencia significativamente menor, lo que por tanto afectará negativamente el servicio proporcionado por el satélite 140.

Como hay varios satélites que orbitan, este problema siempre existe para uno o más de ellos en cualquier momento dado. Naturalmente, no se desea tener que desactivar un satélite, especialmente si esto tiene que producirse sistemáticamente siempre en la misma ubicación. Dicha ubicación no recibirá servicios de comunicación. En este caso, el problema se produce sistemáticamente en todas las latitudes bajas. La figura 7 ilustra la dificultad de proporcionar servicios de comunicación a zonas de la Tierra en latitudes bajas con satélites LEO, si esos satélites deben compartir el espectro de radio con satélites GEO.

En las figuras 3-7, las transmisiones de radio procedentes de un satélite se representan simplemente como un cono que emana del satélite. En los satélites de comunicación típicos, tales transmisiones comprenden múltiples haces independientes, cada uno de los cuales porta una o más señales de radio. Pueden generarse múltiples haces a través de, por ejemplo, múltiples antenas independientes, o a través de un reflector de antena única con múltiples alimentaciones, o a través de redes de antenas, o por otros medios. Las figuras 8 y 9 ilustran el uso de múltiples haces con satélites de comunicación LEO.

La figura 8 representa un satélite de comunicación LEO 840 que puede transmitir múltiples haces independientes 810. Los haces se dirigen a la superficie de la Tierra. Cada haz proporciona cobertura de radio a una parte del área de cobertura general. Idealmente, los diferentes haces no deben superponerse pero, naturalmente, es inevitable una cantidad determinada de superposición y, de hecho, es necesario para evitar discontinuidades de cobertura entre los haces. No obstante, es costumbre representar el patrón de cobertura como si los haces estuvieran desunidos.

La figura 9 representa un ejemplo de un patrón de cobertura de haz. Los diecinueve hexágonos representan las huellas de diecinueve haces que emanan del satélite. Las huellas se encuentran sobre la superficie de la Tierra. Todos los hexágonos son de igual tamaño, de modo que todos los haces experimentan cargas de tráfico aproximadamente iguales. Debe observarse que los hexágonos cerca de la periferia (hexágonos 8 a 19) resultan de haces que alcanzan el suelo formando un ángulo de elevación bajo, mientras que los hexágonos cerca del centro (como el hexágono 1) resultan de haces que alcanzan el suelo desde una dirección casi vertical. El patrón real de los haces que emanan del satélite, y las antenas que generan los haces, debe ajustarse de manera que los haces cerca de la periferia tengan una forma diferente, en comparación con los haces cerca del centro, de manera que las huellas sobre el suelo logren el patrón regular deseado. Se conoce bien en la técnica cómo diseñar un sistema de antenas que genere un patrón tridimensional de haces de manera que, cuando los haces alcancen el suelo, formen huellas en un patrón de cobertura deseado.

Un satélite LEO en una órbita circular se desplaza alrededor de la Tierra a una distancia sustancialmente constante de la superficie de la Tierra. El satélite está equipado con un sistema de control de actitud para controlar la orientación del satélite. La orientación se ajusta de modo que las antenas de satélite siempre apunten hacia la superficie de la Tierra, y de manera que la geometría de las antenas en relación con la superficie de la Tierra debajo del satélite no se modifique cuando el satélite se desplaza a lo largo de su órbita. Esto se hace para garantizar que el patrón de cobertura mostrado en la figura 9 permanezca sin cambios debajo del satélite y se desplace junto con el satélite, cuando el satélite se desplaza a lo largo de su órbita.

Mientras están en órbita, los satélites de comunicación deben mantener sus antenas en una orientación precisa, en relación con la Tierra. Las antenas, entonces, pueden transmitir señales de radio dirigidas a la superficie de la Tierra en un patrón geométrico diseñado para proporcionar una buena cobertura para los terminales de radio sobre la superficie de la Tierra. Para los satélites LEO, ese patrón generalmente comprende una pluralidad de haces independientes, cada uno de los cuales cubre una parte del área de cobertura general. Las figuras 8 y 9 ilustran dicha cobertura de múltiples haces.

En la técnica anterior, los satélites de comunicación LEO siguen órbitas circulares y mantienen una orientación fija, en relación con su sentido de movimiento, con el patrón del haz dirigido hacia abajo, hacia la superficie de la Tierra. De esta manera, el patrón de cobertura sobre la superficie de la Tierra se mueve junto con el satélite sin cambiar su forma.

Un patrón de cobertura de este tipo logra un buen rendimiento, si el satélite puede utilizar un espectro dedicado. Sin embargo, si el satélite debe compartir el espectro con uno o más satélites GEO, los problemas ilustrados en las figuras 6 y 7 requieren que se desactiven varios haces sobre grandes partes de la órbita, y todos los haces deben desactivarse cuando el satélite está cerca del plano ecuatorial.

El documento EP1139585 da a conocer un ejemplo de un sistema de comunicación con satélites en una órbita subgeoestacionaria elíptica.

Sumario de la invención

Un satélite LEO según realizaciones de la presente invención sigue una órbita circular, pero no mantiene una orientación fija en relación con su sentido de movimiento. En cambio, el satélite se inclina progresivamente (véase la definición de "inclinación" en las secciones de Definiciones a continuación) a medida que se desplaza a lo largo de sus órbitas. En particular, la inclinación progresiva es tal que el patrón de cobertura del satélite sobre la superficie de la Tierra cambia y avanza más rápido que el propio satélite, a medida que el satélite se desplaza a lo largo de su órbita.

Como consecuencia de la inclinación, cuando un satélite se acerca al plano ecuatorial, sus haces de transmisión se dirigen cada vez más hacia el plano ecuatorial, en comparación con cuando el satélite está lejos del plano ecuatorial. La geometría de un satélite que se aproxima al plano ecuatorial se ilustra en las figuras 10-12. Las figuras muestran que, a través de esta técnica, se mantiene una buena separación angular entre las señales de radio del satélite y las señales de radio GEO en todas las posiciones del satélite. No es necesario desactivar parte de las transmisiones de los satélites LEO.

Un sistema de comunicación por satélite basado en satélites LEO de inclinación según realizaciones de la presente invención puede compartir el espectro con uno o más satélites GEO mientras que, al mismo tiempo, proporciona una buena cobertura sobre la superficie de la Tierra sin discontinuidades, incluso para zonas cercanas al ecuador. En un

sistema de este tipo, una pluralidad de satélites LEO orbita alrededor de la Tierra en una pluralidad de órbitas inclinadas en relación con el plano ecuatorial. Por ejemplo, tales órbitas podrían ser órbitas circulares polares o casi polares. En cada órbita, una pluralidad de satélites LEO se desplaza a intervalos igualmente espaciados; proporcionan cobertura a zonas sobre la superficie de la Tierra debajo de la órbita. Debe observarse que si bien las órbitas circulares polares se utilizan aquí con fines de ejemplo, las técnicas descritas en el presente documento no tienen necesariamente que limitarse a las órbitas polares, ni a cualquier otro tipo de órbita.

En cada órbita polar, los satélites que se desplazan en esa órbita, espaciados de manera uniforme a lo largo de la órbita, proporcionan una cobertura total e ininterrumpida a las zonas sobre la superficie de la Tierra que se encuentran debajo de la órbita. Esto es posible aunque, en un momento dado, un subconjunto de esos satélites se desactive y no proporcione servicios de comunicación. Los satélites que se desactivan son los que están más cerca del plano ecuatorial. Esos satélites se desactivan para evitar que produzcan interferencia con señales de radio procedentes de los satélites GEO.

La geometría del sistema se ilustra en la figura 14. Los satélites que se desactivan, a medida que se desplazan a través del plano ecuatorial, también cambian su ángulo de inclinación mientras están desactivados. De esta manera, cuando vuelven a activarse de nuevo y se reinician proporcionando cobertura, sus transmisiones de radio se dirigen detrás de ellos, a lo largo de su sentido de desplazamiento. Pueden reanudar entonces la inclinación progresiva hacia adelante que gradualmente lleva su área de cobertura por delante de ellos, a medida que se desplazan a lo largo de la órbita. Cuando nuevamente alcanzan el plano ecuatorial, después de desplazarse a lo largo de la mitad de su órbita, se repite el proceso. La figura 12 ilustra el tránsito de un satélite a través del plano ecuatorial, y la figura 15 ilustra cómo, cuando se desactiva un satélite, su área de cobertura se "traspasa" a otro satélite que está activándose, de modo que el área de cobertura recibe cobertura ininterrumpida.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa, en la técnica anterior, un satélite LEO en órbita polar terrestre baja.

La figura 2 representa, en la técnica anterior, un satélite LEO en órbita polar terrestre baja y un satélite GEO en órbita geoestacionaria.

La figura 3 representa, en la técnica anterior, el área de cobertura de un satélite LEO.

La figura 4 representa, en la técnica anterior, el área de cobertura de un satélite GEO.

La figura 5 representa, en la técnica anterior, un escenario en el que un satélite LEO produce interferencia de radio con una señal de un satélite GEO.

La figura 6 representa, en la técnica anterior, una técnica de mitigación de interferencias.

La figura 7 representa, en la técnica anterior, un problema con la técnica de mitigación de interferencias de la figura 6.

La figura 8 representa, en la técnica anterior, un satélite de comunicaciones LEO que puede transmitir múltiples haces independientes.

La figura 9 representa, en la técnica anterior, un ejemplo de un patrón de cobertura de múltiples haces.

La figura 10 representa un método para reducir la interferencia producida por un satélite LEO según una realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 11 representa la inclinación progresiva del satélite en diferentes latitudes según una realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 12 representa el tránsito de un satélite LEO a través del plano ecuatorial y que muestra el cambio en la posición del área de cobertura del haz de transmisión en función de la posición del satélite con respecto al plano ecuatorial, según una realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 13 representa un sistema de satélites de comunicaciones LEO según el estado de la técnica.

La figura 14 representa un sistema de satélites de comunicaciones LEO según una realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 15 representa el traspaso del área de cobertura, de un satélite LEO a otro, cerca del ecuador, según una realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 16 representa una realización alternativa de la presente invención en la que la interferencia se mitiga mediante la inclinación del satélite en combinación con la activación/desactivación selectiva del haz.

Descripción detallada

5 La figura 10 representa un método para reducir la interferencia producida por un satélite LEO según una realización de la presente invención. En la figura, el receptor GEO 510 está intentando recibir la señal de radio 520 procedente de un satélite GEO, y se requiere una separación angular mínima 1030 entre la dirección de llegada de la señal de radio 520 y cualquier transmisión de radio procedente del satélite LEO 1040. En esta figura, el satélite LEO 1040, según la presente invención, tiene la capacidad de cambiar su orientación (es decir, inclinarse) en relación con la superficie de la Tierra. Por tanto, a diferencia del satélite LEO 140 en la figura 6, este satélite LEO no reduce el tamaño de su área de cobertura 1020. En cambio, todo el satélite se inclina de manera que sus transmisiones de radio se dirigen alejándose del receptor GEO 510 y se mantiene la separación angular deseada 1030.

15 Como no se desactivan los haces de transmisión, el tamaño del área de cobertura no se reduce y el satélite puede continuar portando el mismo volumen de tráfico. Una consecuencia de la inclinación es que el área de cobertura 1020 ya no está centrada debajo del satélite LEO 1040. Esto está en contraposición a la técnica anterior, en la que el área de cobertura 620 en la figura 6 permanece centrada alrededor del punto subsatélite sobre la superficie de la Tierra debajo del satélite LEO 140. En la figura 10, el área de cobertura 1020 no está centrada alrededor del punto subsatélite; más bien, la posición del área de cobertura 1020 se desplaza hacia el plano ecuatorial.

20 La figura 11 muestra cómo evoluciona el grado de inclinación requerida según la posición del satélite LEO 1040 a lo largo de su órbita. La figura representa cuatro posiciones posibles del satélite LEO, marcadas de 1141-1 a 1141-4. Para cada posición posible del satélite, la figura representa la trayectoria de la señal de radio de un satélite GEO que pasa por esa posición. Las cuatro señales de radio GEO están marcadas colectivamente como las señales de radio 1120.

25 En la posición 1141-1, el punto subsatélite está en una latitud alta y la geometría es tal que se necesita poca o ninguna inclinación del satélite para mantener una gran separación angular. El satélite LEO está dirigiendo sus haces de transmisión casi exactamente hacia abajo, y su área de cobertura 1122-1 está casi exactamente centrada alrededor del punto subsatélite. La situación cambia progresivamente para las otras posiciones: cuanto más cerca está el satélite LEO del plano ecuatorial, mayor debe ser la inclinación con el fin de mantener la separación angular deseada entre las señales de radio. En la posición 1141-4, el satélite está muy cerca del plano ecuatorial y, según la presente invención, es necesario que esté muy inclinado, en comparación con un satélite de la técnica anterior, con el fin de mantener la separación angular deseada. De manera correspondiente, el área de cobertura 1122-4 está desplazada sustancialmente del punto subsatélite; de hecho, la figura 11 muestra que el punto subsatélite está fuera del área de cobertura 1122-4.

30 En todas las posiciones, no es necesario reducir el tamaño del área de cobertura, y el satélite puede continuar portando el mismo volumen de tráfico. Es cierto que, en la posición 1141-4, el grado de inclinación es tan grande que la huella de los haces de transmisión sobre la superficie de la Tierra experimentará una determinada cantidad de distorsión, pero las consecuencias son menores. En comparación con la técnica anterior, en que el satélite no podía transmitir en absoluto en la posición 1141-4, la realización de la presente invención logra un volumen de tráfico de satélite casi sin cambios, independientemente de la posición del área de cobertura.

35 La figura 11 muestra cuatro posiciones posibles para el satélite LEO sin especificar una secuencia temporal para las posiciones. La figura es igualmente aplicable a un satélite que se desplaza en cualquier sentido a lo largo de su órbita. En cualquier caso, la posición del área de cobertura, en relación con el punto subsatélite, avanza en el mismo sentido que el sentido de movimiento del satélite. En otras palabras, cuando el satélite se mueve en su órbita alrededor de la Tierra, el área de cobertura también se mueve alrededor de la Tierra en el mismo sentido que el satélite, pero la velocidad angular con la que el área de cobertura gira alrededor de la Tierra es mayor que la velocidad angular del satélite. Finalmente, el área de cobertura supera al satélite. La figura muestra que esto sucede cuando el satélite alcanza el plano ecuatorial. La siguiente figura muestra lo que sucede entonces.

40 La figura 12 muestra una vista ampliada del paso por el plano ecuatorial de un satélite LEO según realizaciones de la presente invención. Se representan un total de ocho posibles posiciones de satélite. Como antes, la figura es igualmente aplicable a un satélite que se desplaza en cualquier sentido a lo largo de su órbita; sin embargo, para mayor claridad y facilidad de explicación, en esta descripción se supone que el satélite se desplaza hacia abajo.

45 En las posiciones 1241-1 a 1241-3, el satélite LEO se aproxima al plano ecuatorial y, tal como ya se mencionó, su inclinación aumenta progresivamente, de modo que su área de cobertura avanza cada vez más por delante del satélite. En la posición 1241-3, se observa que el área de cobertura 1220-3 está centrada casi exactamente en el ecuador. Poco después de esta posición, el satélite desactiva todos sus haces de transmisión.

50 Con los haces de transmisión desactivados, no hay riesgo de producir interferencia a los receptores GEO sobre la superficie de la Tierra. Cuando el satélite se desplaza a través de las posiciones 1242-1 a 1242-3, el satélite

mantiene los haces de transmisión desactivados y comienza a inclinarse en la dirección inversa. El objetivo es invertir completamente el ángulo de inclinación en el momento en que el satélite vuelve a activar sus haces de transmisión.

5 En la posición 1243-3, el satélite acaba de activar sus haces de transmisión. Puede observarse que su orientación, área de cobertura y geometría de haz son la imagen especular de la posición 1241-3, en relación con el plano ecuatorial. Ahora el área de cobertura 1222-3 está quedándose rezagada con respecto al satélite. A medida que el satélite se aleja del plano ecuatorial hacia la posición 1243-2, la inclinación disminuye progresivamente, de manera que el área de cobertura, como antes, se mueve sobre la superficie de la Tierra en el mismo sentido que el satélite a
10 una velocidad angular mayor que el satélite. Progresivamente alcanzará al satélite y, cuando el satélite cruce nuevamente el plano ecuatorial en el otro lado de la Tierra, el área de cobertura estará nuevamente delante del satélite y se repetirá el proceso.

15 Cuando se desactivan los haces de transmisión del satélite, el satélite no porta tráfico. En ese momento es necesario que los terminales de la Tierra a los que da servicio el satélite se traspasen a un satélite diferente, si se desea mantener el servicio ininterrumpido. Incluso en un sistema de comunicación por satélite de la técnica anterior, son necesarias transferencias cuando el área de cobertura de un satélite se mueve de una parte de la Tierra a otra.

20 La figura 13 representa un sistema de satélites de comunicación LEO según la técnica anterior. El sistema comprende múltiples órbitas LEO, en múltiples planos orbitales, uno de los cuales se muestra en la figura como la órbita polar LEO 150. La órbita está poblada por una pluralidad de satélites LEO. En la representación de la figura hay veinticuatro satélites LEO 1340 representados como puntos negros. Cada satélite proporciona servicios de comunicación a un área de cobertura centrada alrededor de su punto subsatélite. Por consiguiente, en la figura 13 hay veinticuatro áreas de cobertura 1320. En el sistema de la figura 13, los satélites no se inclinan y, por tanto, el patrón de veinticuatro áreas de cobertura sigue a los satélites mientras se desplazan alrededor de la Tierra en su
25 órbita. Este sistema no puede compartir el espectro con satélites GEO si no se cuenta con un sistema de mitigación significativo, que normalmente aumentará el costo y/o disminuirá el rendimiento.

30 La figura 14, en cambio, representa un sistema de satélites de comunicación LEO según una realización ilustrativa de la presente invención. El sistema comprende múltiples órbitas LEO, en múltiples planos orbitales, uno de los cuales se muestra en la figura como la órbita polar LEO 150. La órbita está poblada por una pluralidad de satélites LEO. En la representación de la figura hay veinticuatro satélites LEO 1440 representados como puntos negros, pero solo hay veintidós áreas de cobertura 1420. En cualquier instante dado, dos de los veinticuatro satélites no están transmitiendo; la figura representa uno de los dos satélites que no transmiten como el satélite 1441.

35 El motivo por el que los dos satélites no están transmitiendo es porque han desactivado sus haces de transmisión mientras cruzaban el plano ecuatorial, tal como se muestra en la figura 12. La parte de la Tierra que se encuentra debajo de la órbita 150 todavía recibe cobertura ininterrumpida debido a que las veintidós áreas de cobertura 1420 son contiguas. El tráfico se porta por los veintidós satélites que no han desactivado sus haces de transmisión.

40 Tal como ya se ha mencionado, una característica de este sistema es que el patrón de veintidós áreas de cobertura se mueve alrededor de la Tierra más rápido que los satélites en órbita. Cuando un área de cobertura alcanza el ecuador y el satélite que da servicio desactiva sus haces de transmisión, es necesario que otro satélite active sus haces de transmisión al mismo tiempo para proporcionar servicio a esa área de cobertura, de modo que los usuarios del sistema experimenten una cobertura ininterrumpida. Este proceso de traspaso a lo largo de un área de cobertura de un satélite a otro se ilustra en detalle en la siguiente figura.

45 La figura 15 representa cómo el traspaso de un área de cobertura de un satélite a otro se produce cerca del ecuador según una realización ilustrativa de la presente invención. A primera vista, esta figura parece ser superficialmente similar a la figura 12, pero en este caso, la figura representa una imagen de múltiples satélites en la órbita LEO 150 en un instante particular en el tiempo. El instante se elige para que sea el momento en que un satélite 1540-4 está en tránsito a través del plano ecuatorial. Naturalmente, tal como se ilustra en la figura 12, este satélite 1540-4 ha desactivado sus haces de transmisión mucho antes de este instante y está en el proceso de rotar para invertir la inclinación y estar listo para activar sus haces de transmisión de nuevo en un momento posterior.

50 En esta realización ilustrativa particular, hay cuatro satélites que no están transmitiendo en un momento dado, cuando realizan la transición a través del plano ecuatorial. Es decir, en cada lado del planeta, hay un satélite aproximándose al ecuador y otro listo para activarse de nuevo después de haber pasado el ecuador. En la figura 15, además del satélite 1540-4, el satélite 1540-5 también tiene sus haces de transmisión desactivados en este instante, pero ha completado la maniobra de revertir su inclinación y está listo para activar nuevamente sus haces de transmisión. En el mismo instante, el satélite 1540-3 ha alcanzado el punto en que debe desactivar sus haces de transmisión. Su área de cobertura 1520-3 se extiende a lo largo del ecuador. Cuando el satélite 1540-3 desactiva sus haces de transmisión, el satélite 1540-5 activa sus haces de transmisión y comienza a prestar servicio al área de cobertura 1520-3 que, por tanto, no experimenta interrupciones de servicio.

65 En todas las realizaciones de la presente invención presentadas hasta ahora, los satélites han activado o

desactivado todos sus haces de transmisión al mismo tiempo. Sin embargo, un satélite también puede activar o desactivar haces de forma selectiva en diferentes momentos. Esta capacidad puede utilizarse ventajosamente en realizaciones de la presente invención.

5 La figura 16 representa cómo la capacidad para activar o desactivar selectivamente haces de transmisión puede utilizarse en realizaciones de la presente invención para reducir la cantidad de inclinación del satélite que se requiere. En la figura, es necesario que el satélite LEO 1640 proporcione una separación angular adecuada entre las señales para el beneficio del receptor GEO 510 y otros receptores GEO sobre la superficie de la Tierra. Como en la figura 10, el satélite LEO 1640 se inclina alejándose del receptor GEO 510 para lograr una separación angular, pero en este ejemplo ilustrativo, el satélite también desactiva selectivamente los haces de transmisión 1610 que se dirigen cerca del receptor GEO 510. Esta técnica permite que el satélite LEO 1640 logre una separación angular mejorada 1630 sin un grado de inclinación excesivo.

15 Naturalmente, el área de cobertura disminuirá de tamaño como consecuencia de desactivar algunos de los haces. Esto se muestra en la figura 16 donde el área de cobertura 1620 tiene un tamaño reducido. Sin embargo, esto no es necesariamente un problema, y son posibles realizaciones de la presente invención en las que el tamaño del área de cobertura cambia dependiendo de la posición del satélite LEO en su órbita. También es posible prever realizaciones de la presente invención en las que, en lugar de un traspaso de cobertura en el ecuador, el tamaño del área de cobertura se reduzca a nada a medida que se aproxima al ecuador.

20 Aunque la presente invención se ha ilustrado en lo que se refiere a órbitas polares para los satélites LEO y órbitas ecuatoriales para los satélites GEO, resultará evidente para los expertos en la técnica, después de leer esta divulgación cómo obtener y utilizar las realizaciones de la presente invención en la que los satélites están en otros tipos de órbitas. Por ejemplo, y sin limitación, la presente invención puede ser ventajosa para reducir la interferencia a satélites que están en órbitas no geoestacionarias; por ejemplo, tales satélites podrían estar en una órbita cuyo plano está inclinado en relación con el plano ecuatorial. Un ejemplo notable de tales planos inclinados es el denominado plano estable de GEO, que está inclinado $7,3^\circ$ en relación con el plano ecuatorial. Además, los satélites en un sistema según la presente invención podrían estar en órbitas no polares cuyo plano está inclinado, en relación con el plano ecuatorial, o en relación con el plano de los satélites para los que se mitiga la interferencia, formando un ángulo que es menor de 90° .

25 Debe entenderse que esta divulgación enseña sólo uno o más ejemplos de una o más realizaciones ilustrativas, y que los expertos en la técnica pueden idear fácilmente muchas variaciones de la invención después de leer esta divulgación, y que el alcance de la presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas a esta divulgación.

35 Definiciones

Antena - Para los fines de esta memoria descriptiva, una “antena” se define como un dispositivo para convertir una señal de radiofrecuencia eléctrica en una señal de radio, o viceversa, o ambas. Normalmente, una antena está compuesta por una o más piezas de metal dimensionadas y dispuestas de manera adecuada. Las antenas también pueden comprender materiales dieléctricos, además del metal. En ocasiones se utilizan materiales eléctricamente conductores distintos de los metales.

40 Basado en - Para los fines de esta memoria descriptiva, la expresión “basado en” se define como “depende de” en contraposición a “ser independiente de”. Estar “basado en” incluye tanto funciones como relaciones.

45 Órbita casi ecuatorial – En el momento de redactar esta memoria descriptiva, la Wikipedia define una órbita casi ecuatorial como “una órbita que se encuentra cerca del plano ecuatorial”. El grado de cercanía requerida depende de las circunstancias circundantes. Para los fines de esta divulgación, una órbita casi ecuatorial se considerará suficientemente cerca si su ángulo de inclinación, en relación con el plano ecuatorial, es lo suficientemente pequeño como para permitir que las realizaciones de la presente invención alcancen los resultados expuestos en esta memoria descriptiva. Estará claro para los expertos en la técnica cuándo una órbita casi ecuatorial está lo suficientemente cerca como para considerarse como tal.

50 Órbita ecuatorial - Esta es una expresión comúnmente utilizada en la técnica para referirse a una órbita de satélite cuyo plano orbital es el plano ecuatorial. Se conoce bien en la técnica que la órbita real de un satélite real no puede permanecer en el plano ecuatorial debido a las perturbaciones producidas por el Sol, la Luna y otras causas. Un satélite destinado a estar en una órbita ecuatorial necesita ajustes orbitales periódicos para corregir tales perturbaciones y regresar a su órbita para estar cerca del plano ecuatorial.

55 La frecuencia y el grado de tales ajustes dependen de los requisitos del satélite. En particular, dependiendo del objetivo de la misión del satélite, habrá una desviación máxima tolerada de una órbita ecuatorial perfecta. Los ajustes se aplican, según sea necesario, para mantener el plano orbital dentro de esa tolerancia. La órbita de un satélite de este tipo todavía se denomina comúnmente órbita ecuatorial porque el plano orbital nominal es el plano ecuatorial, aunque el plano orbital real, en cualquier momento dado, puede estar formando un ángulo, en relación con el plano ecuatorial, que se encuentre dentro de la tolerancia.

- 5 Órbita - Este es un término comúnmente usado en la técnica para referirse a la trayectoria seguida por un satélite sin alimentación que se encuentra dentro del pozo gravitatorio de la Tierra. En particular, habitualmente se entiende que una órbita se refiere a una elipse con un foco en el centro de la Tierra. Se entiende en la técnica que tal elipse es solo una aproximación. En la práctica, el achatamiento de la Tierra y la presencia del Sol y la Luna producen perturbaciones en la órbita, de manera que la trayectoria real del satélite difiere de una elipse. Sin embargo, el término "órbita" todavía se usa comúnmente para referirse a una elipse porque una elipse es una excelente aproximación para la trayectoria del satélite.
- 10 Aunque tal aproximación es inadecuada, el abandono de la trayectoria real de una elipse perfecta se caracteriza en lo que se refiere a cómo cambian los parámetros de la elipse con el tiempo. En cualquier instante dado, se considera que el satélite se desplaza describiendo una órbita elíptica, lo que se denomina la órbita "osculante".
- 15 Una elipse es una curva geométrica plana. Por lo tanto, en cualquier instante dado, se dice que un satélite se mueve en un plano orbital bien definido; es decir, el plano de la órbita osculante. A medida que los parámetros de la órbita osculante cambian con el tiempo, el plano de la órbita también cambiará, en general,
- 20 Cuando un satélite enciende sus propulsores, la órbita osculante cambia repentinamente en respuesta a la velocidad cambiada del satélite.
- 25 **Mostrar** – Para los fines de esta memoria descriptiva, el infinitivo "mostrar" y sus formas conjugadas (por ejemplo, "mostrando", "muestra", etc.) se definen como "manifestar o hacer evidente".
- Generar** – Para los fines de esta memoria descriptiva, al infinitivo "generar" y sus formas conjugadas (por ejemplo, "generando", "generación", etc.) se les debe dar el significado común y habitual que tendrían los términos para un experto habitual en la técnica en el momento de la invención.
- 30 **Señal de radio** - Para los fines de esta memoria descriptiva, una "señal de radio" se define como una señal que consiste en una onda electromagnética que se propaga a través del aire o el vacío sin necesidad de un soporte material tal como un cable, un conector o una línea de transmisión.
- Cuando - Para los fines de esta memoria descriptiva, la palabra "cuando" se define como "con ocasión de".

REIVINDICACIONES

1. Método para compartir espectro de radio entre un primer satélite de comunicación en una órbita casi ecuatorial alrededor de la Tierra, y un segundo satélite de comunicación (1040) en una órbita inferior, en el que la órbita inferior interseca con el plano de la órbita casi ecuatorial en un nodo ascendente (204) y en un nodo descendente (206), comprendiendo el método la transmisión, por el segundo satélite, de una o más señales de radio en un patrón geométrico de uno o más haces de transmisión dirigidos a la superficie de la Tierra, **caracterizado porque** el método comprende además:
 - a. se basa en la posición del segundo satélite en la órbita inferior;
 - b. se basa en una primera dirección de llegada de una primera señal de radio (520) procedente del primer satélite, tal como se observa en una ubicación sobre la superficie de la Tierra;
 - c. se basa en una segunda dirección de llegada de una segunda señal de radio (1010) procedente del segundo satélite, tal como se observa en dicha ubicación desde la superficie de la Tierra; y
 - d. de manera que la separación angular (1030) entre la primera dirección de llegada y la segunda dirección de llegada satisface o supera un requisito mínimo predeterminado.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la inclinación se logra inclinando la totalidad del segundo satélite (1040).
3. Método según la reivindicación 1, en el que la inclinación se consigue inclinando una parte del segundo satélite (1040) que comprende una o más antenas de radio, en el que la una o más antenas de radio son para transmitir uno o más de los haces de transmisión.
4. Método según la reivindicación 3, en el que las posiciones de la una o más antenas de radio, en relación entre sí, no cambian cuando se cambia el grado de inclinación.
5. Método según la reivindicación 1, en el que la inclinación se logra electrónicamente.
6. Método según la reivindicación 1, en el que dicha ubicación sobre la superficie de la Tierra se encuentra dentro de un área de cobertura cubierta por el segundo satélite (1040).
7. Método según la reivindicación 1, que comprende además:
 - desactivar un haz de transmisión basándose en una tercera dirección de llegada de una tercera señal de radio que forma parte de un haz de transmisión,
 - en el que la tercera dirección de llegada es tal como se observa en dicha ubicación sobre la superficie de la Tierra; y
 - en el que el momento en que se desactiva el haz de transmisión se basa en la separación angular entre la tercera dirección de llegada y la primera dirección de llegada.
8. Método según la reivindicación 7, en el que todos los haces de transmisión se han desactivado en el momento en que el segundo satélite (1040) alcanza el nodo ascendente o el nodo descendente.
9. Método según la reivindicación 7, que comprende además:
 - reducir el grado de inclinación, en comparación con el grado de inclinación que se requeriría para satisfacer el requisito mínimo si el haz de transmisión no se hubiera desactivado.
10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicha ubicación sobre la superficie de la Tierra se encuentra dentro de un área de cobertura cubierta por el segundo satélite.
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, ó 10 que comprende además:
 - desactivar un haz de transmisión basándose en una tercera dirección de llegada de una tercera señal de radio que forma parte de un haz de transmisión,

- en el que la tercera dirección de llegada es tal como se observa en dicha ubicación sobre la superficie de la Tierra; y
- 5 en el que el momento en que se desactiva el haz de transmisión se basa en la separación angular entre la tercera dirección de llegada y la primera dirección de llegada.
12. Método según la reivindicación 11, en el que todos los haces de transmisión se han desactivado en el momento en que el segundo satélite alcanza el nodo ascendente o el nodo descendente.
- 10 13. Método según la reivindicación 11, que comprende además:
- reducir el grado de inclinación, en comparación con el grado de inclinación que se requeriría para satisfacer el requisito mínimo si el haz de transmisión no se hubiera desactivado.
- 15 14. Sistema de satélites de comunicación que tiene un primer satélite de comunicación en una primera órbita y una pluralidad de segundos satélites de comunicación (1440) que orbitan la Tierra en una segunda órbita (150) que es igual para todos los segundos satélites, en el que la segunda órbita interseca el plano de la primera órbita en un nodo ascendente (204) y en un nodo descendente (206), y en el que la primera órbita es una órbita casi ecuatorial y es superior a la segunda órbita, y en el que cada segundo satélite comprende una o más antenas de radio para transmitir una o más señales de radio en un patrón geométrico de uno o más haces de transmisión dirigidos a la superficie de la Tierra, **caracterizado porque:**
- 20 cada segundo satélite comprende un aparato de inclinación para inclinar progresivamente las direcciones de los haces de transmisión a medida que cada segundo satélite se mueve a lo largo de la segunda órbita, en el que la inclinación progresiva hace que un área de cobertura (1122, 1220, 1420, 1520) de cada segundo satélite se mueva sobre la superficie de la Tierra, en relación con el punto subsatélite respectivo, más rápido que el punto subsatélite;
- 25 en el que cada segundo satélite opera el aparato de inclinación para generar una inclinación:
- a. basándose en la posición de cada segundo satélite en la segunda órbita;
- b. basándose en una primera dirección de llegada de una primera señal de radio (520) procedente de cada primer satélite, tal como se observa en una ubicación sobre la superficie de la Tierra;
- 35 c. basándose en una segunda dirección de llegada de una segunda señal de radio (1010) de cada segundo satélite, tal como se observa en dicha ubicación sobre la superficie de la Tierra; y
- 40 d. de manera que la separación angular (1030) entre la primera dirección de llegada y la segunda dirección de llegada satisface o supera un requisito mínimo predeterminado.
15. Sistema según la reivindicación 14, en el que el aparato de inclinación inclina la totalidad de cada segundo satélite.
- 45 16. Sistema según la reivindicación 15, en el que el aparato de inclinación comprende ruedas de reacción.
17. Sistema según la reivindicación 14, en el que el aparato de inclinación inclina una parte de cada segundo satélite, en el que la parte comprende una o más antenas de radio, en el que la una o más antenas de radio son para transmitir uno o más de los haces de transmisión.
- 50

FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR
Satélite en órbita polar LEO

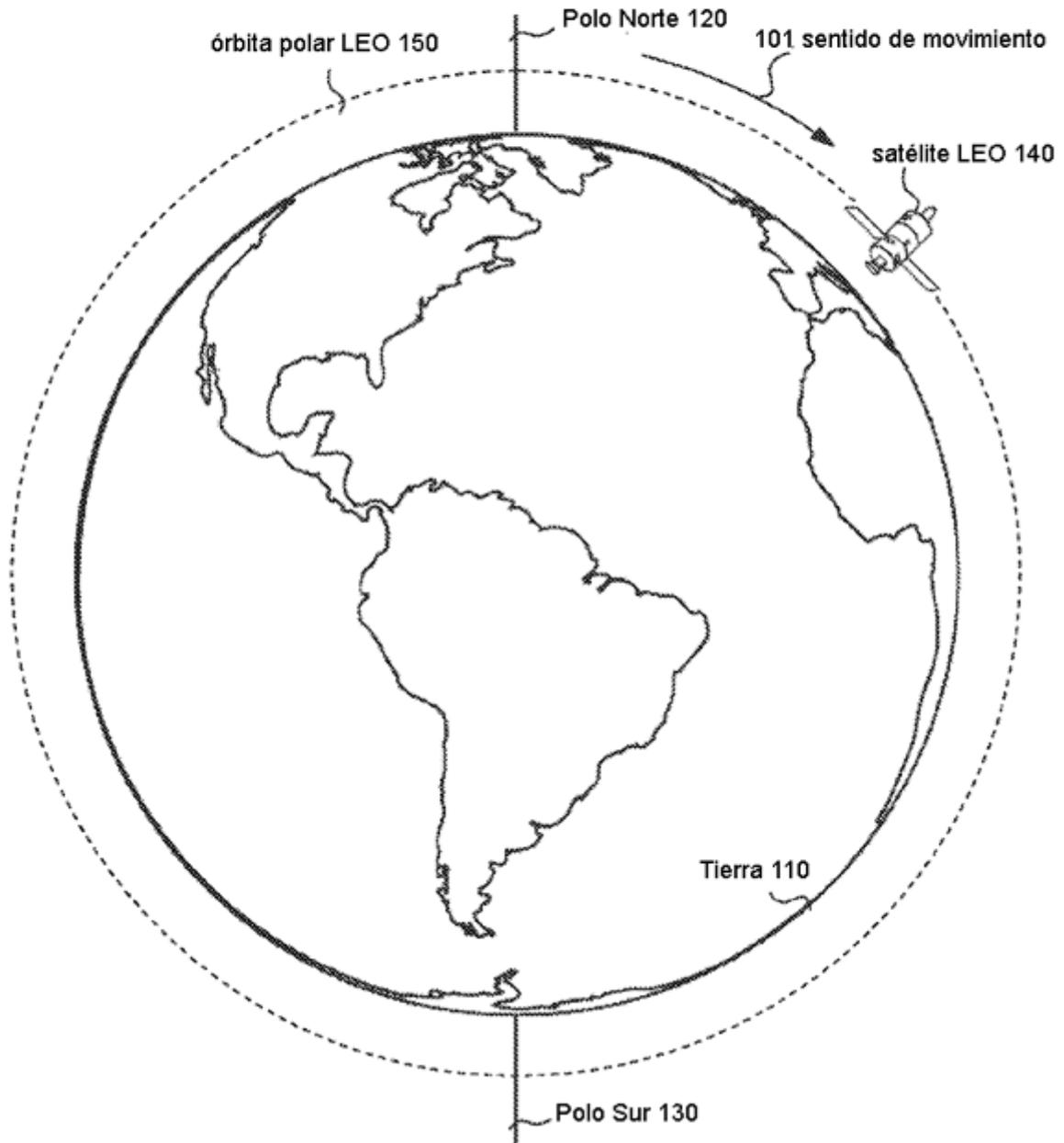


FIG. 2

TÉCNICA ANTERIOR

Satélite LEO y satélite GEO

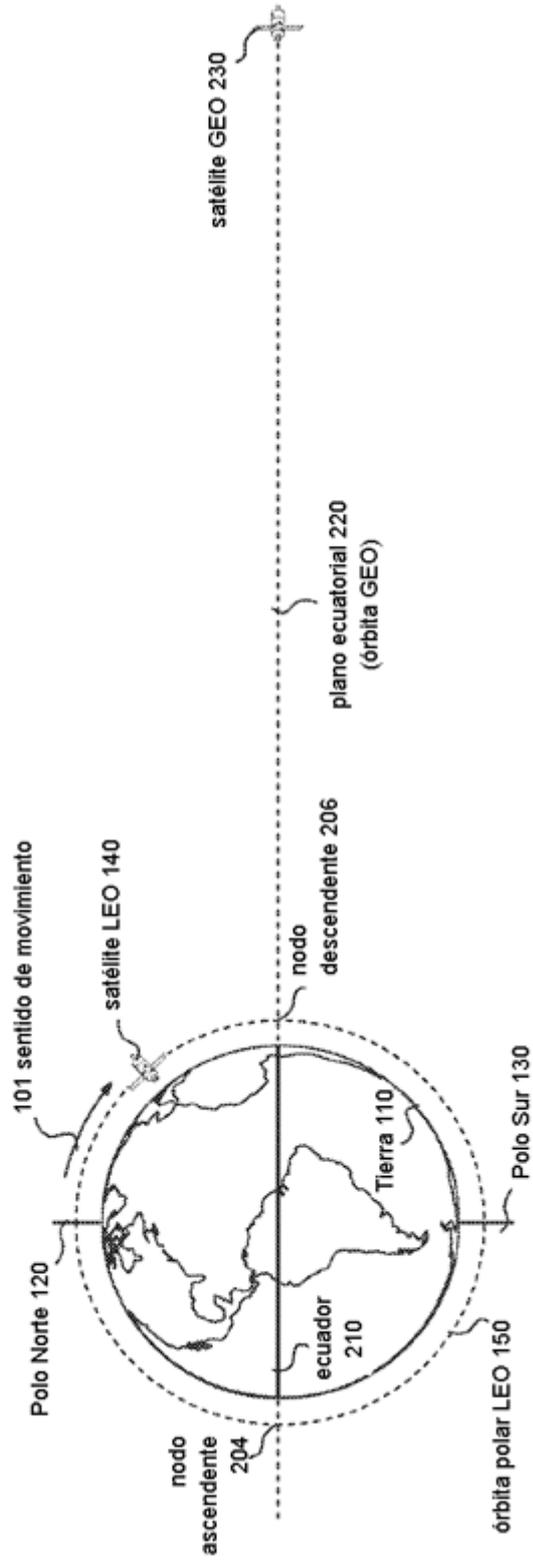


FIG. 3

TÉCNICA ANTERIOR
Transmisiones de radio procedentes de satélite LEO

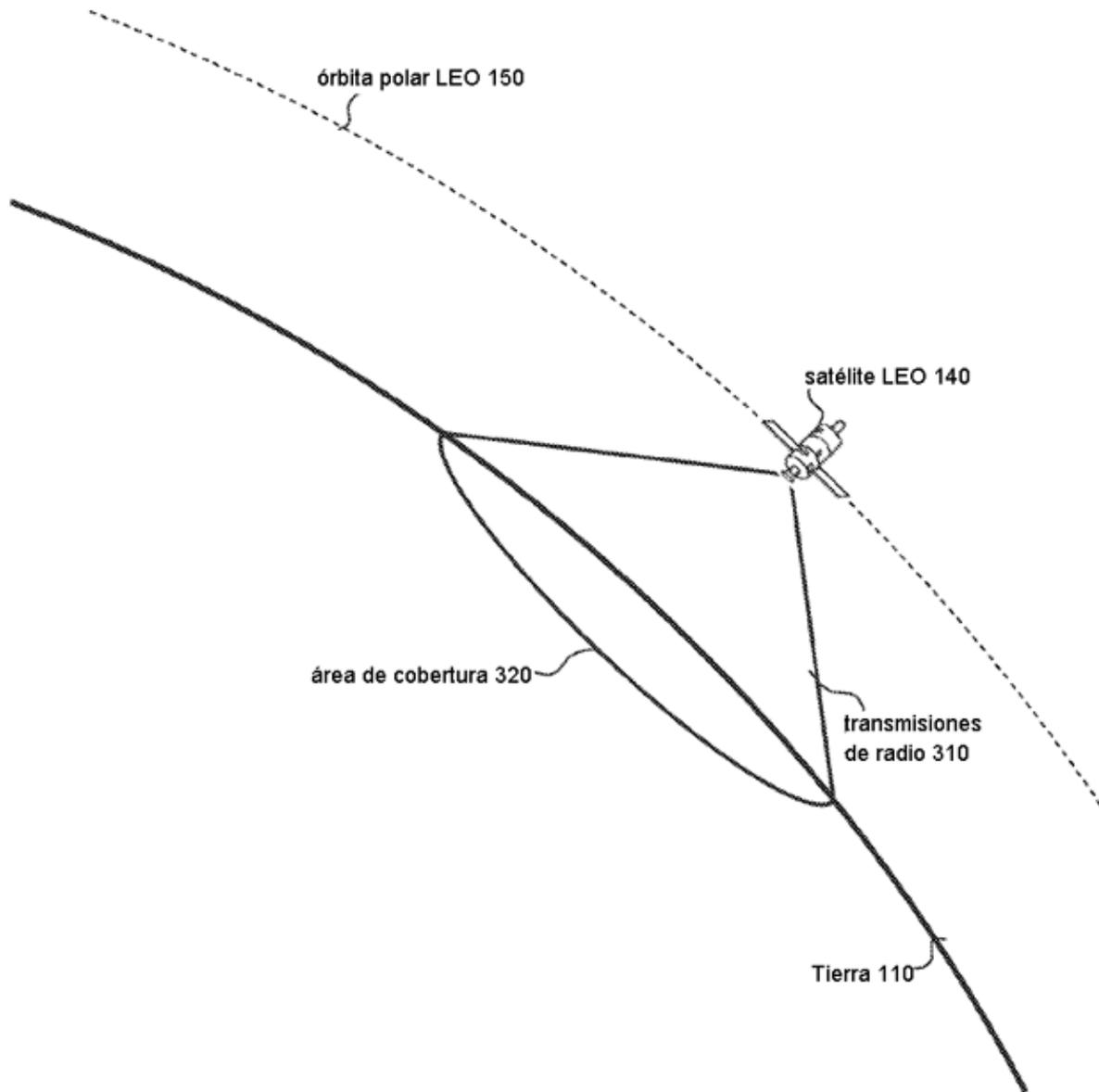


FIG. 4

TÉCNICA ANTERIOR
Transmisiones de radio procedentes de satélite GEO

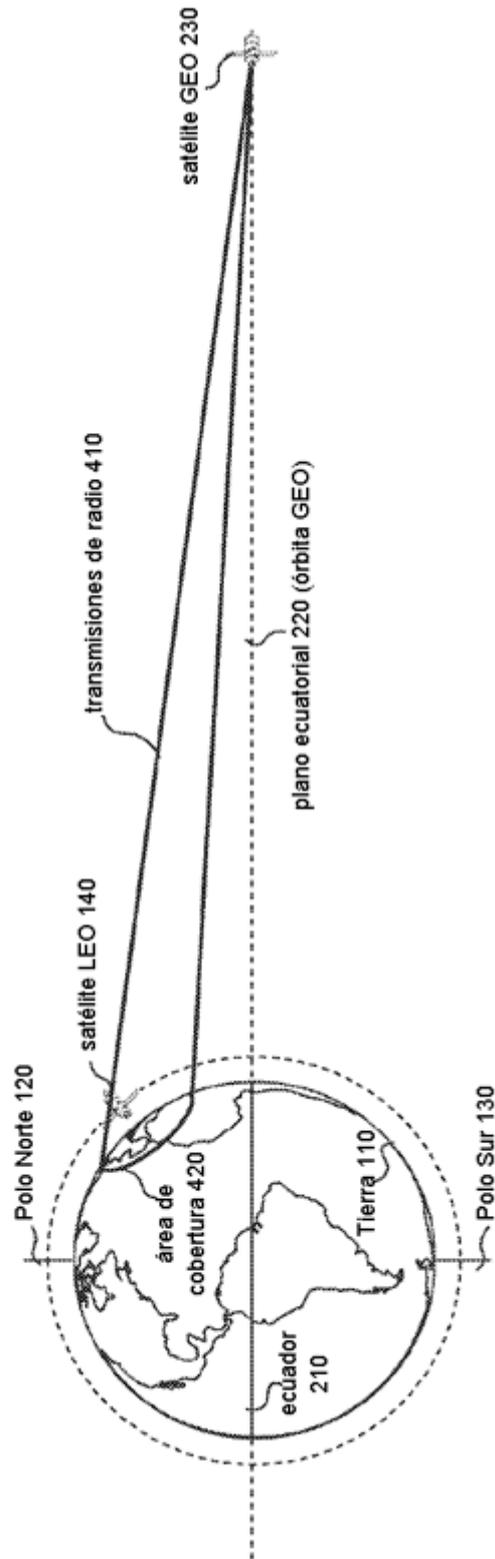


FIG. 5

TÉCNICA ANTERIOR
Radiointerferencia entre satélite LEO y satélite GEO

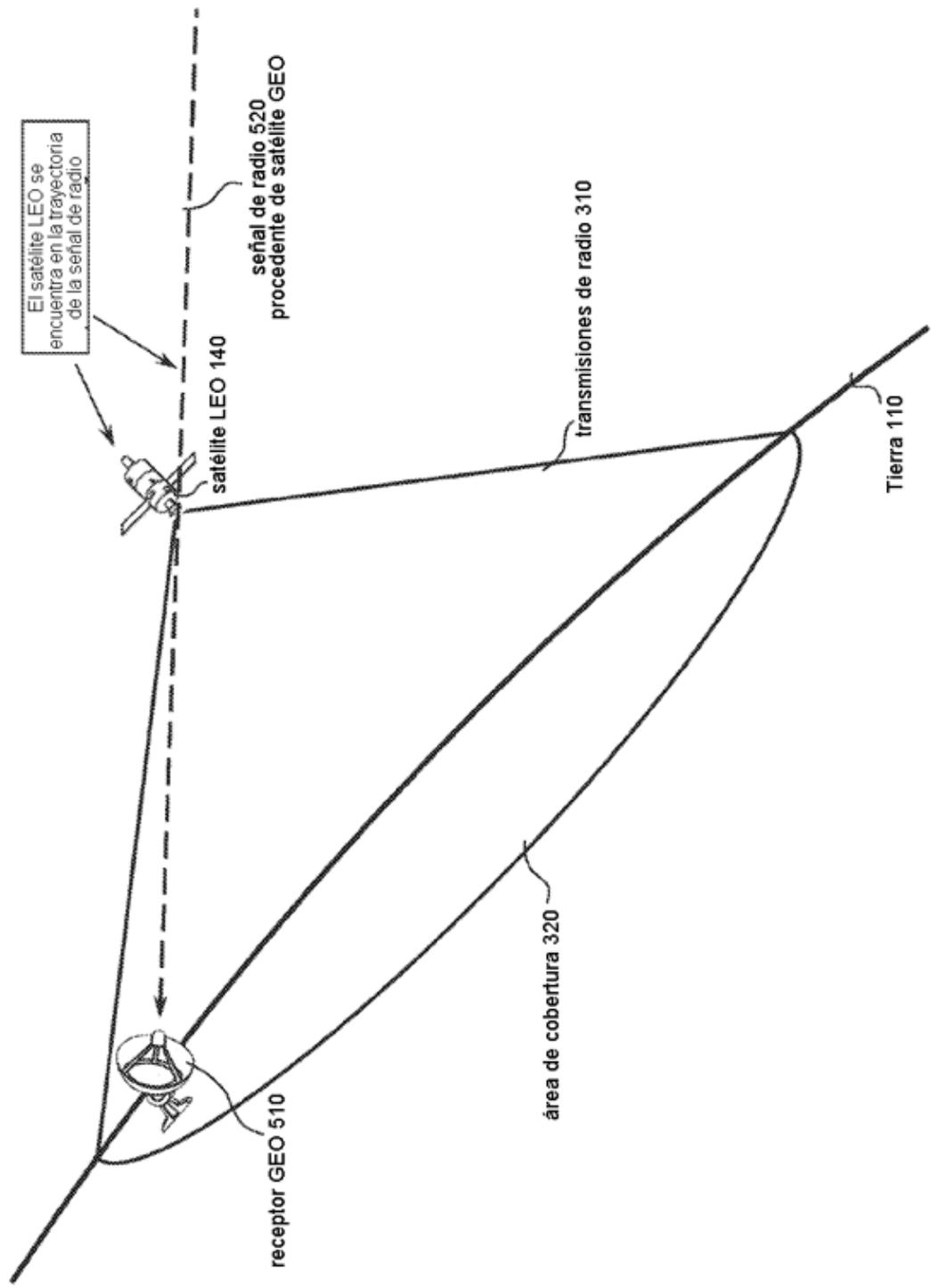


FIG. 6

TÉCNICA ANTERIOR

Mitigación de interferencia a través de cobertura reducida

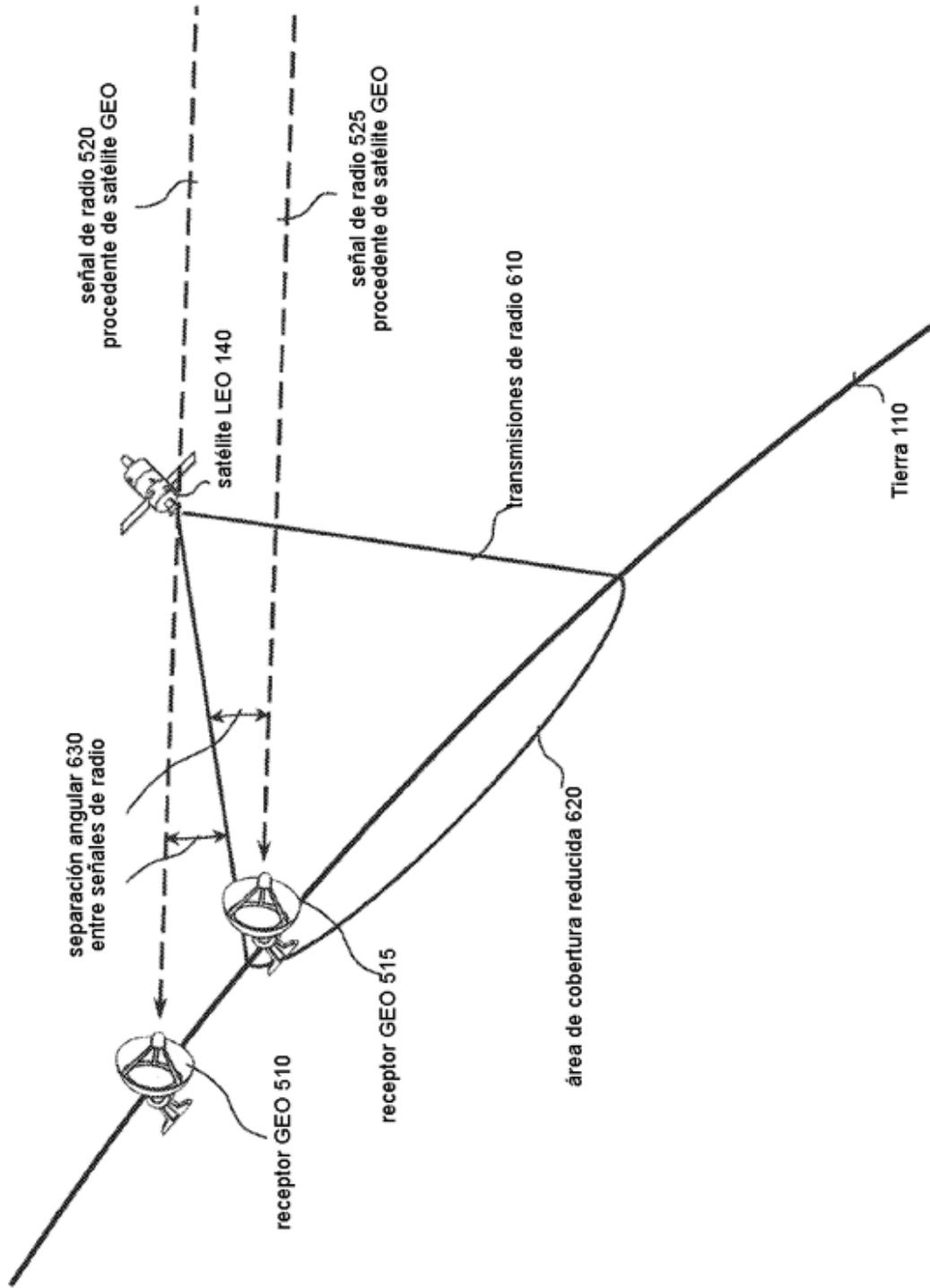


FIG. 7

TÉCNICA ANTERIOR

Interferencia inevitable cerca del ecuador

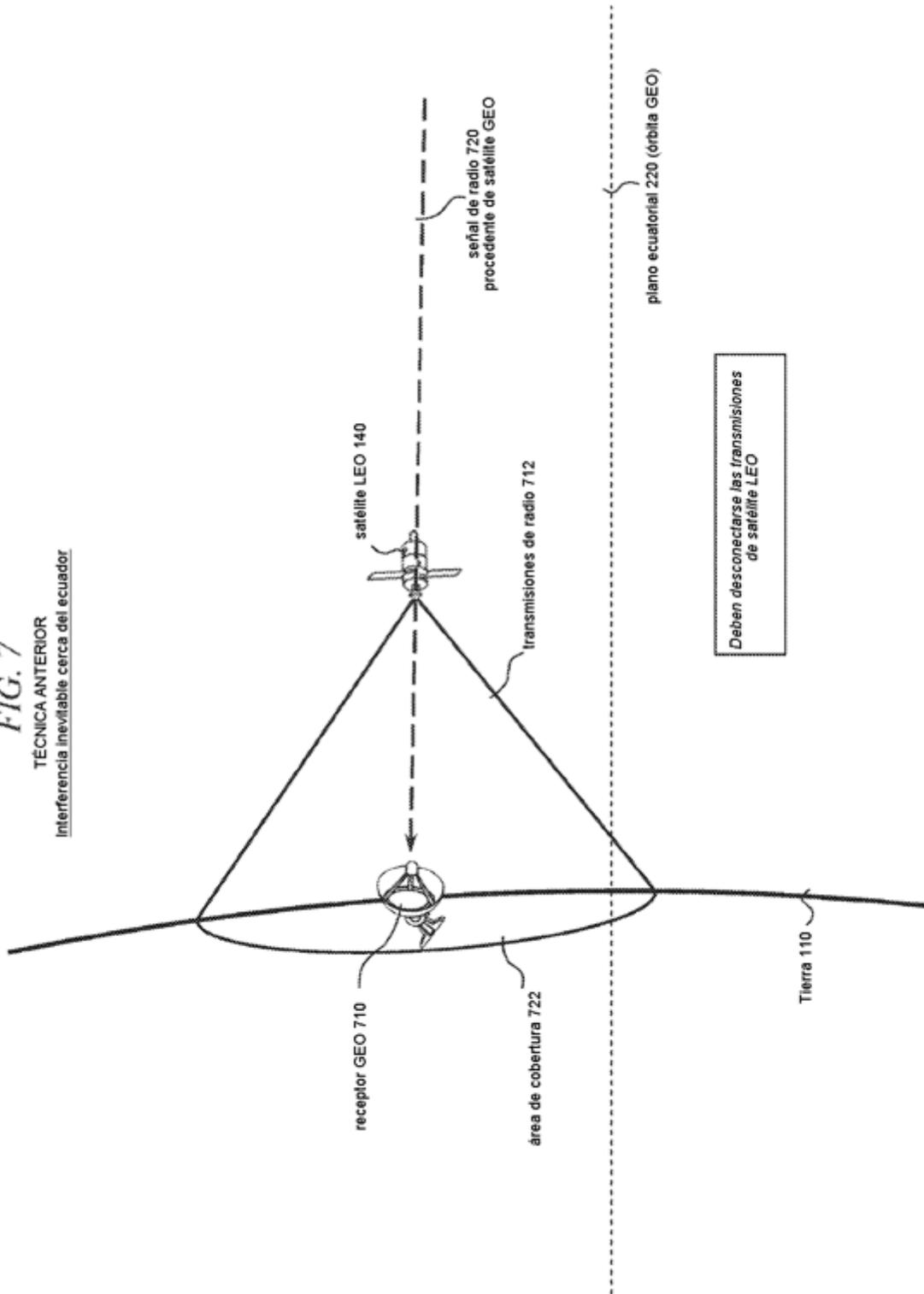


FIG. 8

TÉCNICA ANTERIOR

Transmisión de múltiples haces procedente de satélite LEO

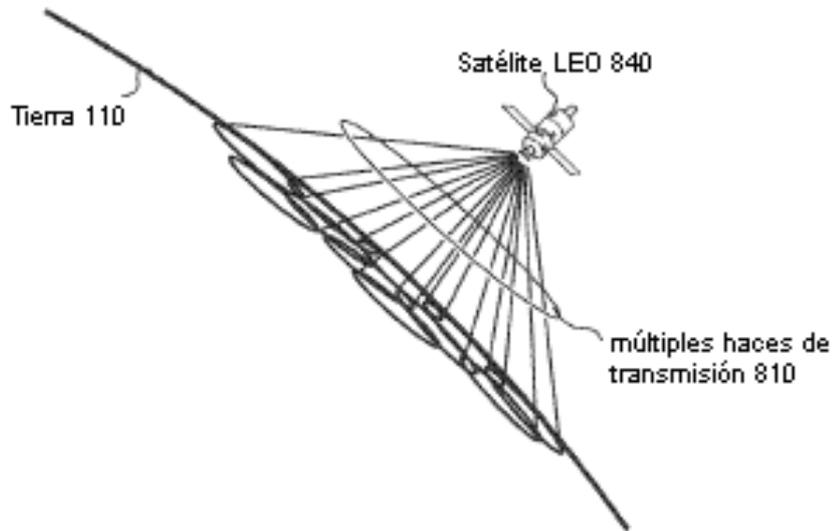


FIG. 9

TÉCNICA ANTERIOR

Patrón de cobertura de múltiples haces 900

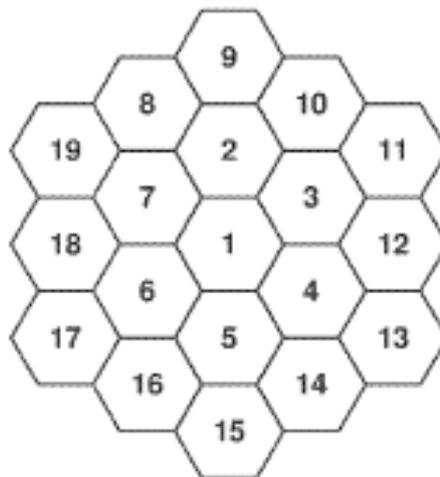
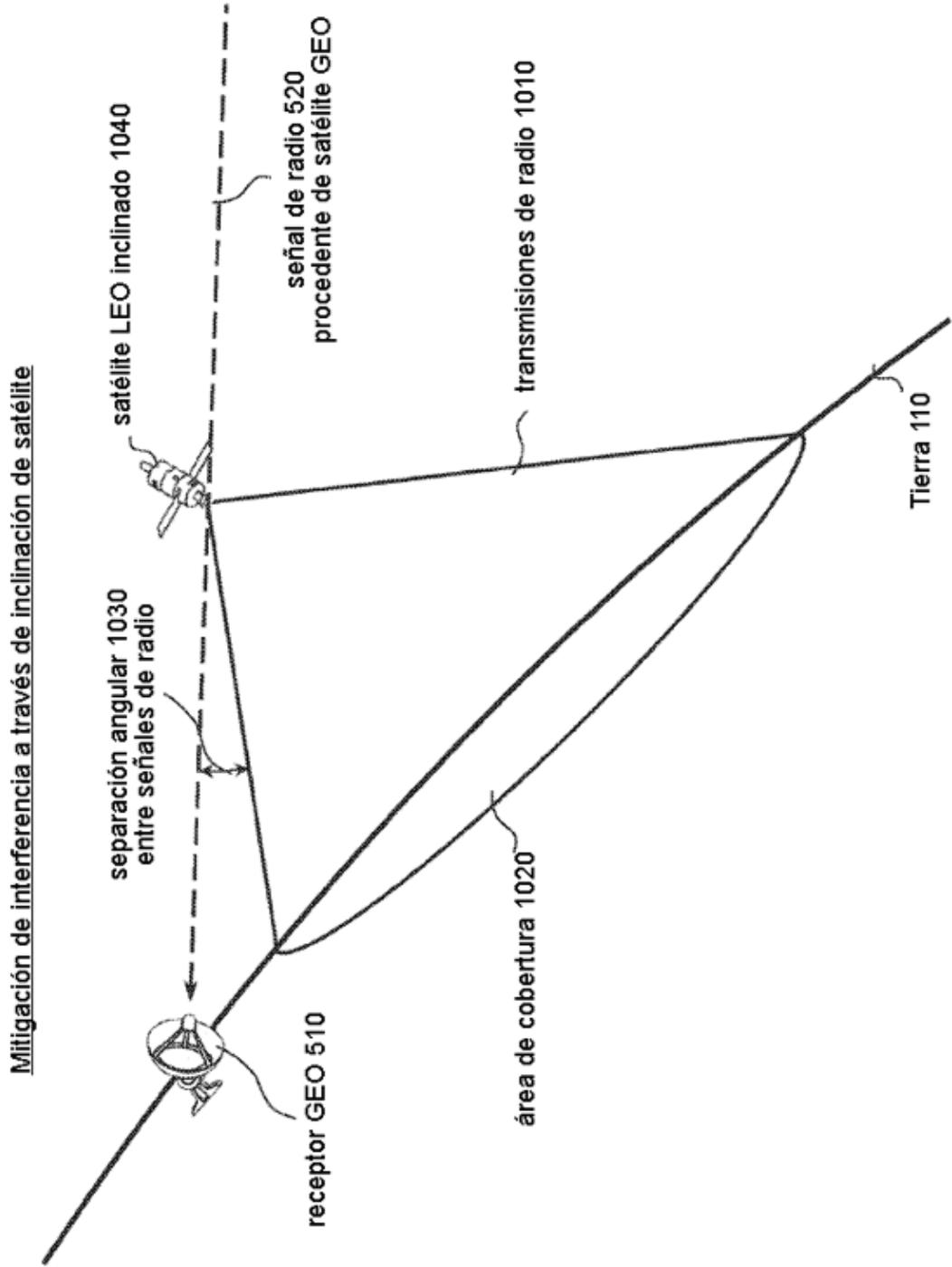
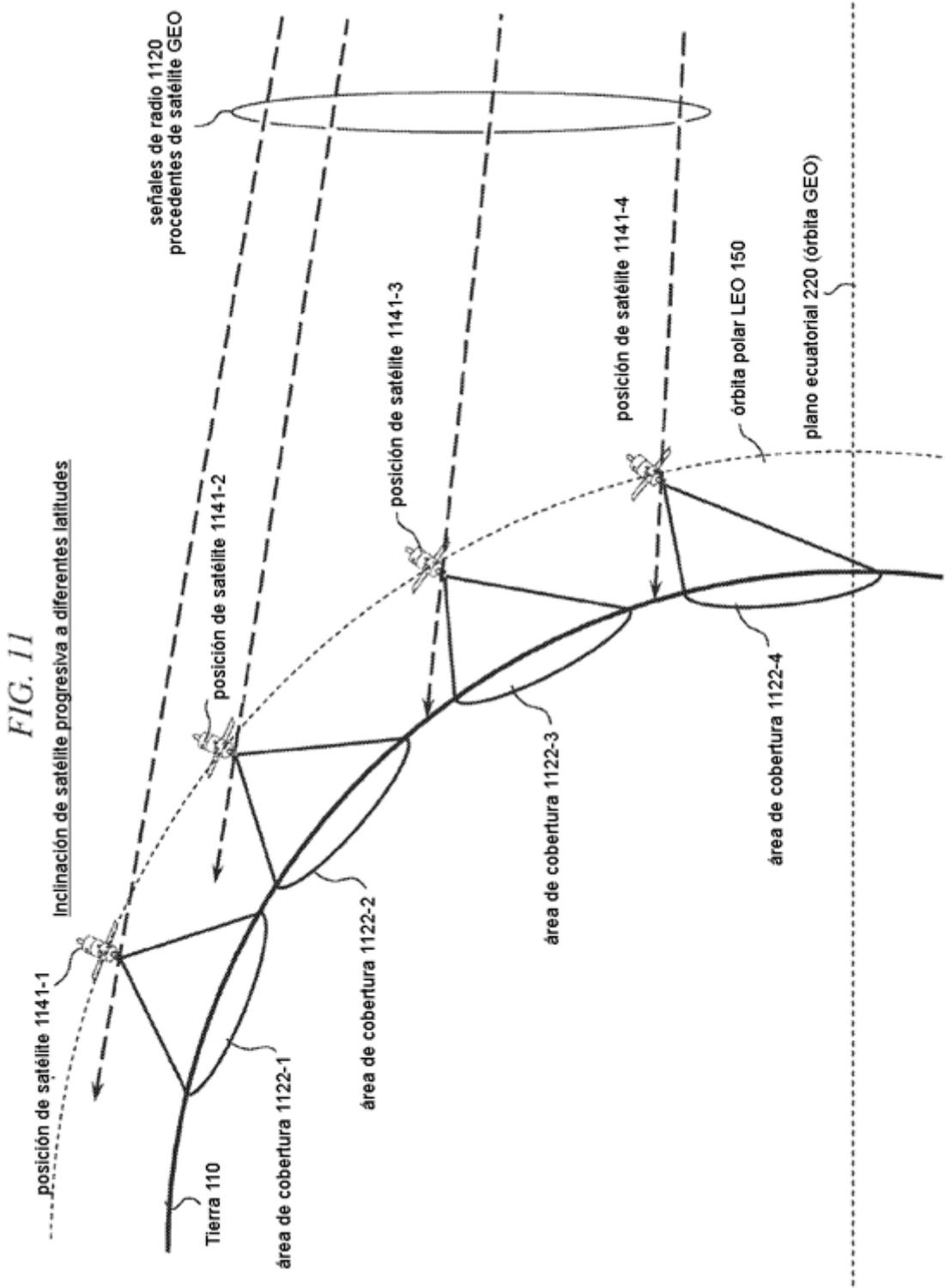


FIG. 10





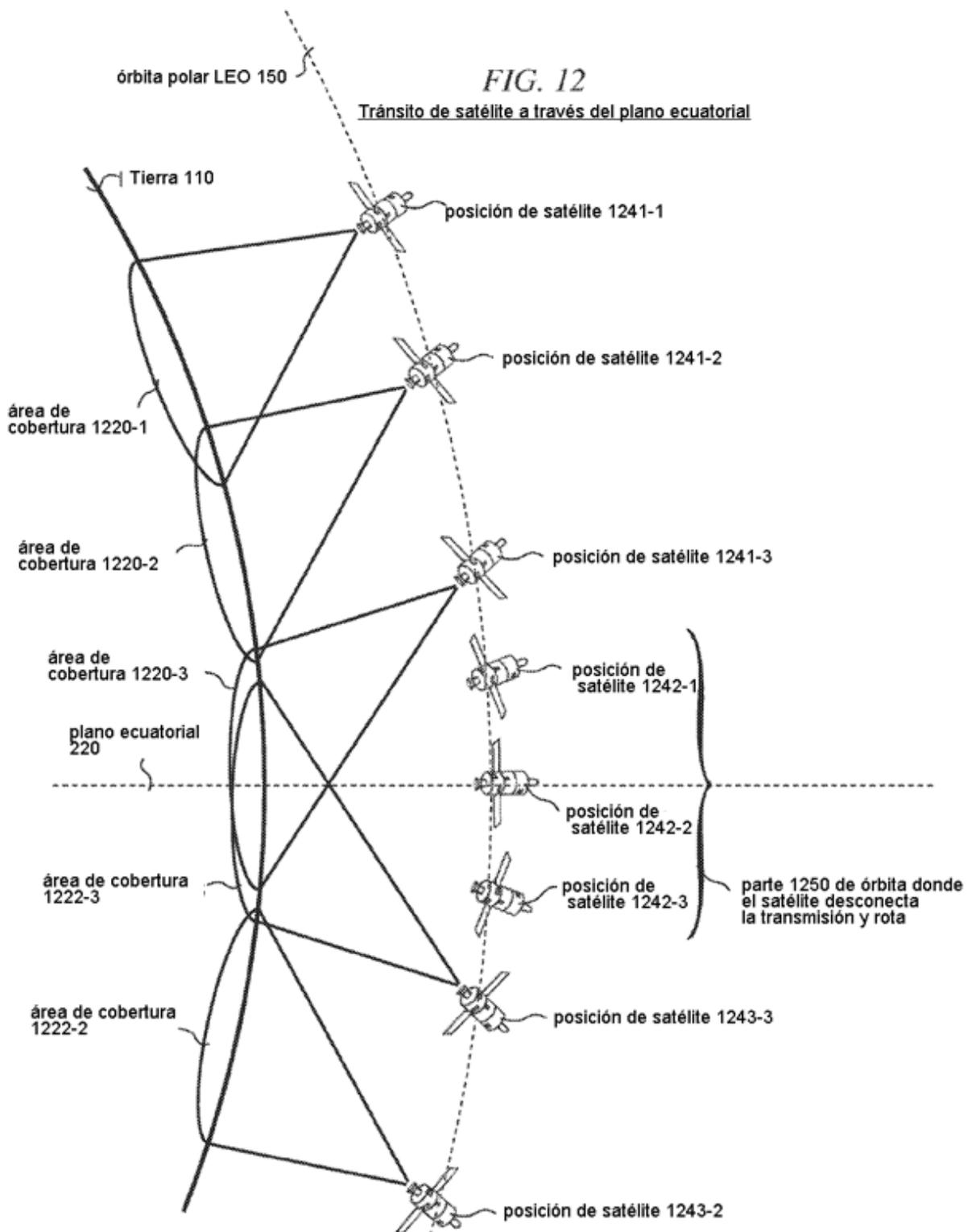


FIG. 13

TÉCNICA ANTERIOR

Cobertura continua a través de múltiples satélites

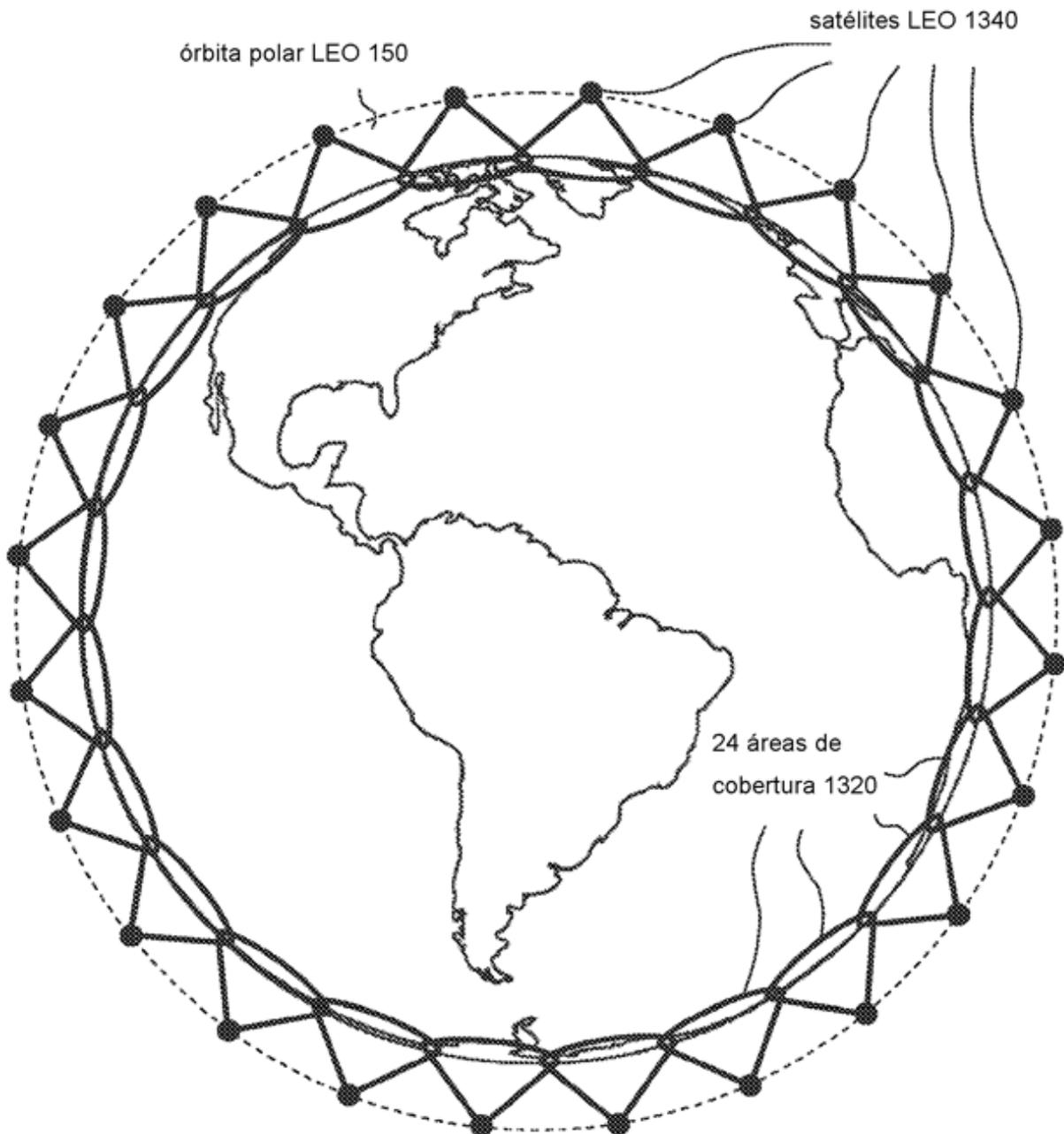
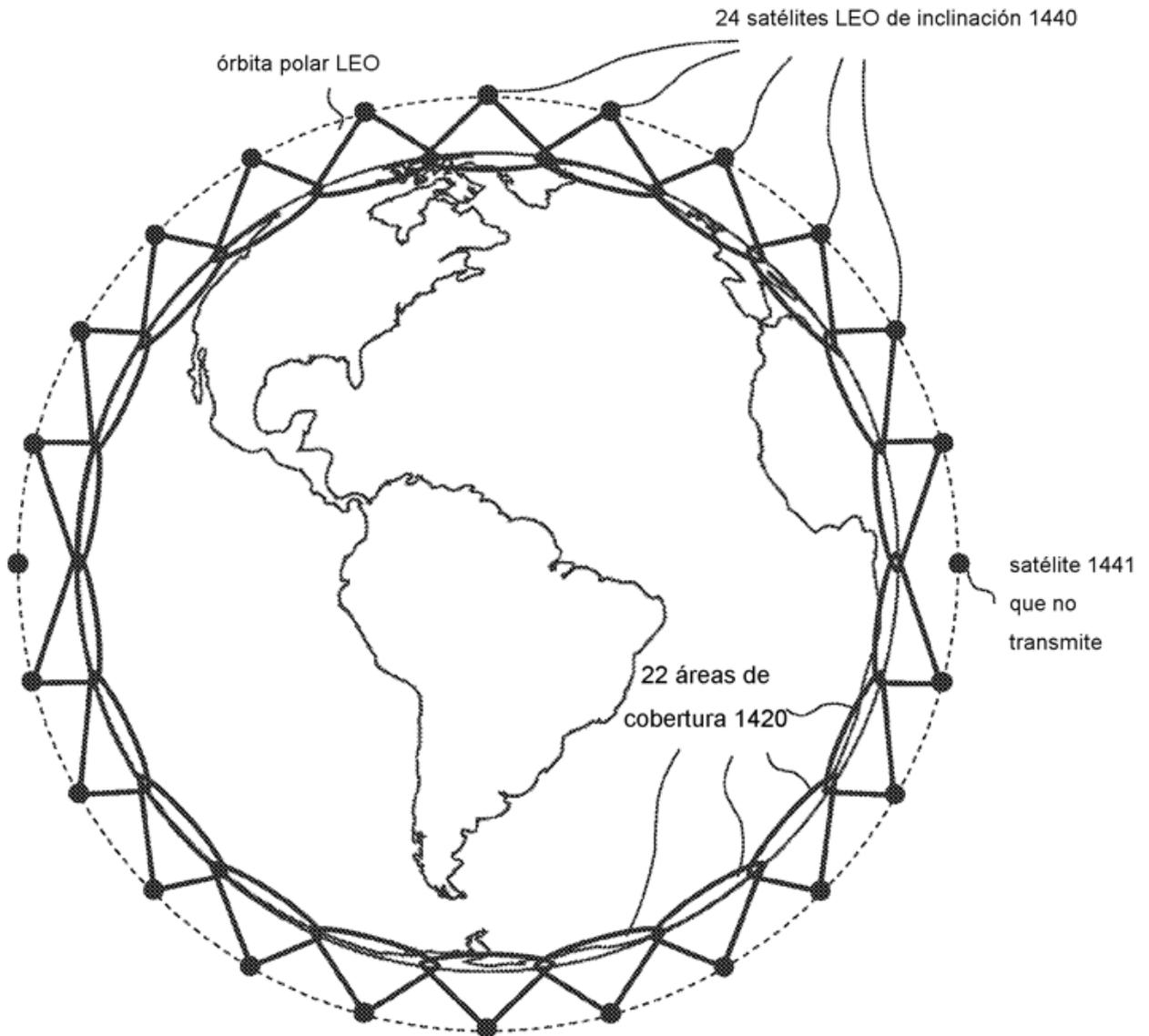


FIG. 14

Cobertura continua a través de múltiples satélites de *inclinación*



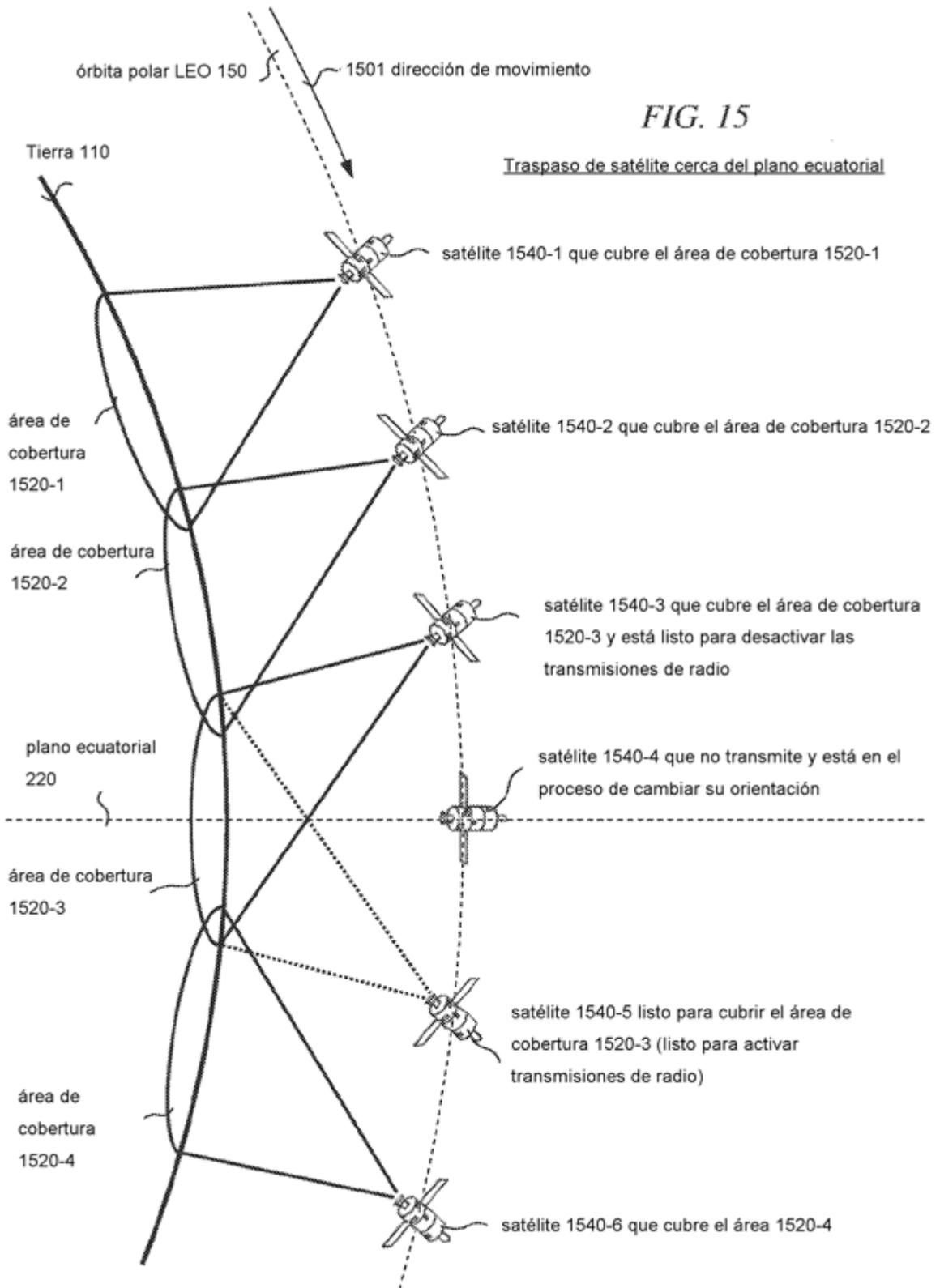


FIG. 15

Traspaso de satélite cerca del plano ecuatorial

FIG. 16

Mitigación de interferencia a través de inclinación de satélite y activación de haz selectiva combinadas

