

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 118**

51 Int. Cl.:

G08B 13/183 (2006.01)

G08B 13/196 (2006.01)

G06T 17/05 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2009 E 09728769 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2277152**

54 Título: **Sistema y método para realizar la vigilancia perimetral optimizada**

30 Prioridad:

31.03.2008 US 41053 P

27.03.2009 US 412800

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

13.12.2013

73 Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)

**100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

THUNEMANN, PAUL, Z.;
MATTIKALLI, ROBERT, W. y
GRUBE, ROBERT, W.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 434 118 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 y método para realizar la vigilancia perimetral optimizada

5 **Campo**

La presente divulgación se refiere a sistemas de vigilancia, en general, y más particularmente a un sistema de vigilancia o de detección que emplea una pluralidad de sensores o dispositivos para realizar operaciones de vigilancia o detección a lo largo de una línea o área de límite predeterminado.

10

Antecedentes

Las declaraciones en esta sección proporcionan simplemente información básica relacionada con la presente divulgación y pueden no la técnica anterior.

15

En el documento WO 03/032622 se desvela un método para la implementación de un cable trampa de vídeo que incluye las etapas de calibrar un dispositivo de detección para determinar los parámetros del dispositivo de detección para su uso por el sistema; inicializar el sistema, incluyendo la entrada al menos un cable trampa virtual; obtener datos del dispositivo de detección; analizar los datos obtenidos del dispositivo de detección para determinar si el al menos un cable trampa virtual se ha cruzado; y desencadenar una respuesta a un cruce del cable trampa virtual. También se conoce a partir del documento US 2007/0265781 que un método implementado por ordenador para generar un modelo de superficie digital de imagen con textura (DSM) para un área geográfica de interés que incluye tanto edificios como terreno puede incluir el uso de un ordenador para generar un modelo de elevación digital (MED) tanto de los edificios como del terreno para el área geográfica de interés. El método puede incluir además proporcionar una colección de imágenes ópticas, que incluye imágenes ópticas oblicuas del área geográfica de interés, incluyendo tanto edificios como el terreno. El ordenador se puede utilizar también para superponer selectivamente las imágenes ópticas oblicuas de la colección de imágenes ópticas en el OEM tanto de los edificios como del terreno para el área geográfica de interés y para generar con ello la DSM de imagen con textura para el área geográfica de interés, que incluye tanto edificios como el terreno.

20

25

30

En el documento 2005/0073411 se describe un aparato para la detección de cualquier intruso pasa a través de una pared electrónica. La pared electrónica se forma por un radar de onda milimétrica situado en un extremo de la pared y una pluralidad de combinaciones de reflectores y retro-reflectores planos colocados a lo largo del suelo de la pared, así como en las estructuras en los dos extremos. La pared se forma de una pluralidad de haces electromagnéticos, teniendo cada haz dos segmentos, uno entre la antena de radar y un reflector plano y el segundo segmento entre el reflector plano y un retro-reflector. Un número suficiente de haces habitan en el volumen de la pared para que un intruso atravesase la pared sin detección esencialmente imposible, aunque el intruso intente tales métodos de evitar la detección como arrastrándose por debajo o saltando por encima de las ubicaciones asumidas de los haces. El principal medio para determinar que un intruso está atravesando la pared es la detección de uno o más haces electromagnéticos que están siendo parcial o completamente bloqueados. Un medio secundario de detección es la reflexión por radar de persona intrusa, que puede ser utilizado para determinar la ubicación de un intruso a lo largo de la extensión de la pared.

35

40

45

También se desvela en el documento US 2006/0033617 un método mediante el que un perímetro se puede asegurar eficazmente por un sistema de unidades manuales/autónomas fijas/móviles en tierra/agua, por un sistema aeronáutico/de naves espaciales manual/autónomo y por un sistema de barreras físicas. Una amplia gama de equipos de vigilancia, comunicación y científicos se asocian a estos sistemas y están todos asociados a los centros de control fijos/móviles.

50

55

La vigilancia de las fronteras geográficas, así como de grandes instalaciones con base terrestre fija tales como edificios, bases militares e instalaciones de fabricación ido creciendo en importancia. En la actualidad, es de particularmente gran interés la realización de la vigilancia de las fronteras de Estados Unidos, e incluso más particularmente la frontera de Estados Unidos con México. Sin embargo, la frontera Estados Unidos/México se extiende más de 3.218,69 Km (2.000 millas), y por lo tanto la vigilancia en tiempo real representa un coste significativo y problemas de aplicación.

60

65

Las ubicaciones precisas elegidas para los sensores que se van a utilizar para fines de supervisión se eligen normalmente por juicio de ingeniería utilizando una línea perimetral específico que se va a supervisar. Normalmente la línea perimetral sigue, en algunos casos, de cerca o idénticamente a la línea de frontera geográfica. Para cubrir la totalidad de un gran límite perimetral geográfico tal como la frontera de Estados Unidos/México con sensores, tales como los radares y cámaras situadas en puntos separados entre sí a lo largo de la frontera, se requeriría un número excesivamente grande de tales dispositivos. Cubrir toda la frontera de Estados Unidos/México puede requerir miles o incluso decenas de miles de estos sensores o dispositivos. Una implementación de este tipo se vuelve rápidamente económicamente inviable, por no hablar de los retos más importantes que se encuentran con el mantenimiento continuo de miles o más de sensores o cámaras. Complicando esto aún más es que una frontera geográfica, siendo la frontera Estados Unidos/México solamente un ejemplo, discurre a menudo a través de profundos barrancos,

70

75

colinas escarpadas y densos bosques. Por lo tanto, la compleja topografía de la frontera hace difícil, si no imposible, que tal frontera se cubra con un número razonable, limitado de sensores.

5 En diversas partes del mundo, la frontera entre países vecinos discurre a menudo a través de una región montañosa. Las regiones montañosas imponen retos significativos cuando se trata de diseñar una serie de sensores.

10 Esto se debe a la compleja topografía de tales regiones. Normalmente, los sistemas de vigilancia desarrollados previamente utilizados en regiones montañosas han requerido un gran número de sensores, muchos de los que terminan cubriendo secciones muy pequeñas del área fronteriza que se está supervisando. En algunos casos, esto ha hecho que la protección fronteriza a través de una región montañosa sea económicamente inviable.

Sumario

15 En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un método implementado por ordenador para la formación de un cable trampa virtual a través de una subregión de un área de interés. El método implica la realización de un análisis geométrico de un modelo digital del terreno en la subregión, el análisis geométrico que determina una ubicación para cada uno de una pluralidad pre-designada de sensores candidatos que se pueden utilizar potencialmente en la formación del cable trampa virtual. Se determina una cuenca visual para cada sensor candidato. Cada cuenca visual
20 representa una región de cobertura de su sensor candidato asociado. Cada uno de un punto inicial geométrico y punto final geométrico dentro de la subregión se definen para el cable trampa virtual. Las cuencas visuales se analizan en respuesta al análisis geométrico para determinar un número mínimo de sensores candidatos requeridos para formar una trayectoria para el cable trampa virtual desde el punto inicial hasta el punto final.

25 La presente divulgación se refiere también a un método para determinar las ubicaciones de una pluralidad de sensores que se utilizan para supervisar un área geográfica de interés. El método puede comprender: obtener un modelo de elevación digital que incluye como una porción del mismo, el área de interés. Se selecciona un número inicial de sensores candidatos para ser utilizados en la supervisión del área de interés. Un análisis geométrico del terreno en el área de interés se realiza utilizando el modelo de elevación digital, y el número inicial de sensores
30 candidatos, para determinar una cuenca visual para cada uno de los sensores candidatos, representando las cuencas visuales de cada uno de los sensores candidatos una región conformada por un conjunto de subregiones, donde cada subregión tiene una línea de visión directa a su sensor candidato asociado. Todas las cuencas visuales se analizan para determinar un subconjunto mínimo de sensores candidatos que tienen cuencas visuales que forman al menos una trayectoria sustancialmente continua a través del área de interés desde un punto inicial
35 designado hasta un punto final designado.

40 En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un sistema para formar un cable trampa virtual a través de una subregión de interés. El sistema comprende un sistema de información geográfica para realizar un análisis geométrico de un modelo digital del terreno de la subregión, estando el sistema de información geográfica dispuesto para determinar una ubicación para cada uno de una pluralidad pre-designada de sensores candidatos que pueden utilizarse potencialmente en la formación del cable trampa virtual, y una cuenca visual para cada uno de los sensores candidatos, con cada cuenca visual representando una región de cobertura de su sensor candidato asociado. Una optimización de la respuesta del sistema a la información generada por el sistema de información geográfica se utiliza para analizar las cuencas visuales para determinar un número mínimo de sensores candidatos
45 necesarios para formar una trayectoria desde un punto inicial designado hasta un punto final designado dentro de la subregión, representando la trayectoria el cable trampa virtual.

50 Otras áreas de aplicabilidad serán evidentes a partir de la descripción proporcionada en el presente documento. Se debe entender que la descripción y los ejemplos específicos están destinados solamente para fines de ilustración y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación.

Breve descripción de los dibujos

55 Los dibujos descritos en el presente documento tienen solamente fines de ilustración y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación en modo alguno.

La Figura 1 es un diagrama de bloques de una realización del sistema de la presente divulgación;

60 La Figura 2 es un modelo de elevación digital ejemplar que muestra un área de interés designada para el usuario a través de la que el usuario desea extender un cable trampa virtual con el fin de vigilar una frontera;

La Figura 3 es una vista ampliada de una cuenca visual ejemplar creada por el sistema y que ilustra su sensor asociado en el centro geométrico aproximado de la cuenca visual;

65 La Figura 4 muestra el modelo de elevación digital de la Figura 3 pero con una pluralidad de cuencas visuales superpuestas sobre el mismo, con las cuñas de las cuencas visuales siendo designadas;

La Figura 4A es una ilustración de las cuñas que se forman dentro de cada una de un par de cuencas visuales adyacentes, de superposición y de cómo se asignan los nodos a cada cuña;

5 La Figura 4B es una ilustración de un gráfico de adyacencia construido a partir de los dos nodos indicados en la Figura 4A;

10 La Figura 5 muestra una vista de una porción de un modelo de elevación digital que ilustra un área de interés rectangular seleccionada por un usuario, con porciones específicas dentro del área de interés a oscuras, lo que indica que tales porciones no serán consideradas en la determinación de la distribución óptima de los sensores;

La Figura 6 es una ilustración de un cable trampa virtual formado por seis sensores, y que muestra las cuencas visuales asociadas a los seis sensores;

15 Las Figuras 6A y 6B ilustran pantallas de una interfaz de usuario ejemplar que se puede utilizar para permitir al usuario introducir varias selecciones para controlar el proceso de optimización;

20 Las Figuras 6C y 6D proporcionan ejemplos de recorte que producen un menor grado de superposición entre las cuñas de cuencas visuales adyacentes (Figura 6C) y una pequeña laguna entre las cuñas de cuencas visuales adyacentes (Figura 6D).

La Figura 7 es una vista de un cable trampa virtual diferente construido a partir de ocho sensores y que ilustra el aumento del espesor del cable trampa virtual en un punto específico donde un individuo o un vehículo podría cruzar el cable trampa;

25 La Figura 8 es una ilustración del área de interés y de cinco cuencas visuales que se superponen parcialmente dentro del área de interés, ilustrando cómo las ubicaciones de los sensores se pueden seleccionar para proporcionar cuencas visuales superpuestas pero que todavía no se encuentran ubicadas de manera óptima en el área de interés para proporcionar un área de cobertura máxima dentro del área de interés;

30 Las Figuras 8A-8E exponen las operaciones específicas en la realización del proceso de Formulación de para Maximizar el Área;

35 La Figura 9 muestra una selección optimizada utilizando el mismo número de sensores que se utilizan en la Figura 8, pero con la selección de los sensores estando optimizada para maximizar el área de cobertura de las cuencas visuales de los sensores seleccionados dentro del área de interés;

Las Figuras 9A-9D ilustran un ejemplo del proceso de Formulación de para Minimizar los Sensores para la determinación de un cable trampa virtual utilizando un número mínimo de sensores;

40 La Figura 9E ilustra otra disposición de cuencas visuales de superposición parcial;

La Figura 9F ilustra un gráfico de adyacencia correspondiente a las cuencas visuales mostradas en la Figura 9E; utilizando los cables trampa que se pueden formar entre los bloques inicial y final diferentes combinaciones de las cuencas visuales;

45 Las Figuras 9G-9K muestran cinco soluciones de cable trampa diferentes, incluyendo cada una tres sensores;

50 La Figura 9L es un gráfico que ilustra el resultado de la operación del subsistema de optimización continua de la presente divulgación; y

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra las principales operaciones realizadas por una implementación del sistema.

55 Descripción detallada

La siguiente descripción es de naturaleza meramente ejemplar y no pretende limitar la presente divulgación, aplicación, o usos.

60 Haciendo referencia a la Figura 1, se muestra una realización de un sistema 10 para la formación de un cable trampa virtual. El sistema 10 se puede utilizar para analizar una región geográfica y para determinar un número óptimo de sensores independientes, por ejemplo, dispositivos de radar o dispositivos de formación de imágenes ópticas, tales como cámaras, a utilizarse para formar el cable trampa virtual. Por "cable trampa virtual", se entiende una línea continua o casi continua a través de un área de interés dentro de la región geográfica. Una persona, un vehículo o un objeto que cruza esta línea pueden entonces tener una alta probabilidad de ser detectado, o
65 posiblemente un cien por ciento de probabilidad de ser detectado. Además de optimizar el número de sensores, la forma del cable trampa virtual puede en sí ser optimizada de manera que permita que el cable trampa virtual se

cubra con un conjunto mínimo de sensores.

El sistema 10 se puede implementar en un programa de software y puede incluir un sistema de información geográfica (SIG) 12, un sistema de optimización 14 y una pantalla 16. Un sistema de software SIG disponible en el mercado adecuado para su uso está disponible por ESRI de Redlands, CA. El SIG 12 puede recibir como una entrada 18 un modelo de elevación digital de una región de interés, por ejemplo, una sección de la frontera entre Estados Unidos y México. Como alternativa, el modelo de elevación digital puede ser de una región en la que se encuentra una base militar. Aún más, el modelo de elevación digital puede ser un modelo de una región geográfica en la que se encuentra una empresa de fabricación u otras instalaciones a gran escala. Dicha región puede comprender, por ejemplo, una región donde se encuentra una refinería de petróleo, una región donde se encuentra una planta de energía, una región donde se encuentran grandes edificios o complejos privados o gubernamentales, una región donde se encuentra un aeropuerto, una región donde se encuentra una instalación de tratamiento de agua, o cualquier otra instalación, estructura o región donde se desea la vigilancia perimetral y la detección de intrusiones. Diversos modelos de elevación digitales se pueden obtener en el Servicio Geológico de Estados Unidos para diversas regiones geográficas de todo el mundo. Además del modelo de elevación digital (MED) del terreno, que normalmente representa un modelo de tierra desnuda, se pueden utilizar también modelos digitales de superficie (DSM) que representan las copas de los árboles y edificios.

Se apreciará que, aunque el sistema 10 se adecua idealmente para proporcionar de forma rentable la detección perimetral de grandes áreas geográficas que abarcan docenas, cientos o incluso miles de kilómetros cuadrados, el sistema 10 se puede implementar igual de fácil en una escala más pequeña para proporcionar vigilancia y detección perimetral en regiones geográficas que abarcan unas pocas hectáreas o kilómetros. En ambos casos, los modelos geométricos de las estructuras hechas por el hombre, tales como edificios y puentes se podrían incluir. Como se hará evidente a partir de los siguientes párrafos, un beneficio importante del sistema 10 es su capacidad para determinar el número óptimo de sensores independientes, y las ubicaciones específicas de los mismos, sobre un terreno geográfico complejo que implica barrancos, montañas, arroyos, follaje denso, etc., y en estructuras tales como edificios y puentes, mientras sigue que teniendo en cuenta las obstrucciones de la línea de visión tanto de las estructuras naturales como artificiales.

El SIG 12 puede recibir también una o más entradas 20 en relación con las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de caminos conocidos (si no están ya presentes en el modelo de elevación digital que se utiliza), o incluso las coordenadas de estructuras conocidas como puentes, presas, torres de antenas, postes de líneas eléctricas, torres de agua de embalses, vallas publicitarias, etc. Una entrada opcional 22 se puede proporcionar para informar al SIG 12 de un determinado número inicial de sensores candidatos a considerar al realizar su análisis. El SIG 12 utiliza el modelo de elevación digital, cualquier entrada 20 proporcionada al mismo, y, si se proporciona, el número de sensores candidatos para determinar una ubicación del sensor para cada sensor y una "cuenca visual" para cada sensor. Por "cuenca visual" de un sensor determinado, se entiende una subregión (en el modelo de elevación digital o modelo geométrico) sobre la que se pueden detectar eventos por el sensor. Esta subregión puede corresponder a puntos que poseen una línea de visión directa al sensor determinado. Como alternativa, puede corresponder a un punto calculado utilizando algún otro modelo de rendimiento del sensor. Preferentemente, el número inicial de sensores candidatos seleccionados por el usuario será lo suficientemente grande como para que al menos un pequeño grado de superposición de las cuencas visuales de los sensores adyacentemente situados se produzca en todo el mapa digital de elevación.

A modo de ejemplo, la presente descripción asumirá que 800 sensores han sido seleccionados como el número inicial de sensores candidatos. Por tanto, las ubicaciones de los sensores candidatos se trazan por el SIG 12, de manera que proporcionan un patrón de cuencas visuales sobre el modelo de elevación digital, con las cuencas visuales adyacentes superponiéndose suficientemente entre sí para "cubrir" el modelo de elevación digital.

El sistema de optimización 14 puede incluir un subsistema de optimización de enteros mixto 14a y 14b un subsistema de optimización continua. El subsistema de optimización de enteros mixto 14a puede estar provisto de entradas para el "Espesor del Cable trampa Virtual" 24, una entrada de "Área de Interés (ADI)" 26 y una entrada de "Cantidad de Sensores 'K' deseada para Solución para Maximizar el Área" 28. El subsistema de optimización de enteros mixto 14a utiliza la ubicación del sensor y la información de la cuenca visual generada por el SIG 12, así como la entrada del usuario 26 que define un área específica de interés del modelo de elevación digital, los límites del cable trampa virtual, y opcionalmente el "espesor" del cable trampa virtual (desde la entrada 24), que se va a construir, y puede analizar la información anterior para determinar las posiciones de cada uno de un subconjunto de los 800 sensores candidatos que se requieren para formar el cable trampa virtual con el espesor solicitado, a través del área de interés. El subconjunto de ubicaciones de los sensores se puede introducir después al subsistema de optimización continua 14b, junto con las entradas opcionales adicionales 14c que el usuario puede definir, tales como tipos de sensores específicos que se van a utilizar, o la altura máxima a la que cualquier sensor se puede colocar. A este respecto, se apreciará que la altura a la que un sensor tal como un dispositivo de radar o dispositivo de proyección de imagen óptica se coloca puede tener un impacto significativo en el tamaño (es decir, área) de su cuenca visual. Por ejemplo, una cámara colocada a una altura de cinco metros sobre el nivel del suelo puede tener una cuenca visual que sea solo una pequeña fracción de la cuenca visual que la misma cámara tendría si se monta veinte metros por encima de la superficie del suelo.

El subsistema de optimización continua 14b mantiene las ubicaciones de latitud, longitud del sensor como constantes, pero reduce el rango del sensor y la altura del nivel del sensor sobre el suelo (NSS) para refinar aún más el tipo de sensor y las posiciones del sensor generadas por el subsistema de optimización de enteros mixto 14a. Las ubicaciones de los sensores definidos por el sistema de optimización 14 puedan ser tales que se permitan las diferencias de distancias predeterminadas a lo largo del cable trampa virtual, dependiendo de las restricciones de entrada proporcionadas por el usuario. Por lo tanto, si el costo es una preocupación significativa, entonces, un cable trampa virtual no continuo se puede construir utilizando un menor número de sensores proporcionando aún una alta probabilidad (por ejemplo, del 90%) de detección. Si se desea una probabilidad del 100% de detección se optimiza, entonces, la construcción del cable trampa virtual para que al menos un pequeño grado de superposición esté presente en las cuencas visuales de cualquiera de los dos sensores adyacentemente situados. El sistema de optimización 14, en la selección de la colocación y del número de sensores necesarios para formar el cable trampa virtual, puede resolver esencialmente el problema de optimización combinatoria mediante la resolución de un problema de programación de enteros mixto lineales.

El espesor del cable trampa virtual se puede adaptar adicionalmente utilizando la entrada 24 y el sistema de optimización 14 de tal manera que se proporciona un espesor mínimo, por ejemplo, 1 Km, en cualquier punto a lo largo del cable trampa virtual. En este caso, el sistema de optimización 14 selecciona un número suficientemente grande de sensores de manera que las cuencas visuales de los sensores seleccionados tienen individualmente al menos aproximadamente un cable trampa virtual de 1 Km a través de sí mismas, pero tienen también por pares una superposición suficiente para proporcionar el espesor de 1 Km a lo largo del cable trampa virtual. Este aspecto del sistema 10 se explica también con más detalle en los siguientes párrafos.

La salida de información desde el subsistema de optimización continua 14b se introduce de nuevo en el SIG 12 que utiliza las ubicaciones de los sensores seleccionados, sus cuencas visuales y la forma del cable trampa virtual para crear una superposición del cable trampa virtual en el área de interés del modelo de elevación digital. Esta información se puede después visualizar en un sistema de visualización de 16.

Con referencia ahora a las Figuras 2-9, se proporcionarán diversas ilustraciones que ayudan adicionalmente a explicar la creación de un cable trampa virtual. La Figura 2 es una ilustración de un modelo de elevación digital geográfico ejemplar 30 con una línea de frontera 32 superpuesta sobre el mismo. Diversos caminos y/o ríos 34 serpentean por toda la región mostrada. Las áreas elevadas 36, como colinas o áreas montañosas están presentes, así como áreas de pocos grados, tales como barrancos 38. El área rayada 40 es el "área de interés" designada que ha sido seleccionada por un usuario utilizando un ratón u otro instrumento informático. Esta área de interés puede formar una de las entradas 20 que se aplica al subsistema de optimización de enteros mixto 14a. Se observará que el área de interés 40 discurre generalmente paralela a la frontera 32 en este ejemplo, pero se apreciará también que el cable trampa virtual que se construye por el sistema 10 no tienen necesariamente que discurrir generalmente paralelo a la frontera. De hecho, dependiendo del terreno dentro del área de interés, y del número de sensores que se utilizan, el cable trampa virtual se puede desviar considerablemente de la frontera 32, dependiendo de lo que el sistema 10 determina como la disposición más eficiente de los sensores en la construcción del cable trampa virtual. En algunos casos, un cable trampa virtual que se desvía de la trayectoria de la frontera se puede construir con un número significativamente menor de sensores que uno que sigue paralelamente de cerca a la frontera, y ahorros de costes significativos (sin pérdida de capacidad de detección) podría ser preferibles con respecto a la solución más costosa que emplea un mayor número de sensores.

La topografía del área de interés seleccionada influenciará en gran medida la ubicación exacta de los sensores. En algunas áreas, tales como los alrededores de barrancos donde la línea de visión puede ser muy limitada, pueden ser necesarios más sensores, mientras que en áreas elevadas donde no haya obstrucciones en la línea de visión para una cierta distancia, un menor número de sensores puede ser entonces necesario, debido a la mejora de la línea de visión. Los sensores de este ejemplo se indican mediante el número de referencia 42.

Volviendo a la Figura 3, se muestra la cuenca visual 42a de uno de los sensores 42. El perímetro general de la cuenca visual 42a se indica con líneas discontinuas, y en este ejemplo toma la forma general de un círculo. Las cuencas visuales 42a pueden formar un área continua o sustancialmente continua, o pueden formar esencialmente una colección de subregiones similares a islas denominadas "cuñas". Un ejemplo de una cuenca visual 42a que tiene una pluralidad de cuñas se muestra en la Figura 4, indicándose las cuñas se indican con los números de referencia 42a₁, 42a₂, 42a₃ y 42a₄. En el ejemplo de la Figura 4, dos cuencas visuales 42a y 42a' se pueden observar superponiéndose en el área encerrada en un círculo 44. Cada cuña de una cuenca visual 42a dada representa un conjunto de puntos contiguo que tiene una línea de visión directa a su sensor asociado 42, y que se encuentra a una distancia predeterminada (por ejemplo, 10 Km) de su sensor asociado 42. Como se puede observar en las Figuras 3 y 4, la topografía del terreno afecta de manera significativa a la formación de cada cuenca visual 42a. Dependiendo del terreno y de otras obstrucciones (por ejemplo, puentes, torres de antenas, torres de almacenamiento de agua, postes de líneas eléctricas o estructuras, etc.), una cuenca visual 42a puede tomar la forma de un círculo completamente formado, un círculo sustancialmente formado, o un área que solo se asemeja vagamente a un círculo. En la Figura 3, las porciones punteadas dentro del círculo de línea discontinua 46 representan las subregiones de la cuenca visual 42a, donde existe una línea de visión directa al sensor 42, mientras que las porciones no-punteadas representan áreas donde no existe una línea de visión directa al sensor 42. Del

mismo modo en la Figura 4, el círculo de línea discontinua 48 y el punteado ilustran que existen subregiones importantes dentro de la cuenca visual 42a' donde no hay ninguna línea de visión directa al sensor 42 disponible.

5 El sistema de optimización 14 analiza cada cuenca visual 42a y construye adicionalmente un gráfico, referido como gráfico de "adyacencia de cuñas", donde un nodo se asigna a cada cuña de una determinada cuenca visual. Esto se ilustra en las Figuras 4A y 4B, con una porción de un gráfico de adyacencia de cuñas correspondiente mostrada en la Figura 4B. En la Figura 4a, se puede observar a las dos cuencas visuales 42a y 42a' como teniendo una cuña 42a₁, que está marcada como nodo Nodo₁, y la cuña 42a₂, que está marcada como nodo Nodo₂ en la Figura 4B. Las cuñas 42a₁ y 42a₂ se superponen entre sí, con la porción punteada del dibujo representando la porción de superposición. Dado que las dos cuñas 42a₁ y 42a₂ se superponen, los nodos Nodo₁ y Nodo₂ que se asignan para representar las mismas en un gráfico de adyacencia se conectan por un par de arcos dirigidos 43A y 43B como se muestra en el gráfico de adyacencia de la Figura 4B. Por tanto, se apreciará que en la práctica el gráfico de adyacencia puede representar un gráfico grande y altamente complejo cuando cientos o miles de cuencas visuales 42a de superposición están presentes, produciendo de este modo cientos o miles de nodos interconectados. El gráfico de adyacencia de cuñas se utilizará en los cálculos matemáticos que se describen en los siguientes párrafos.

Haciendo referencia a la Figura 5, en la definición inicial del área de interés, que se muestra en este ejemplo como el área 50, ciertas subregiones dentro del área de interés se pueden eliminar de la consideración. En este ejemplo, estas áreas eliminadas se designan mediante el número de referencia 52. Esto se puede lograr a través del subsistema de optimización de enteros mixto 14a a través de un dispositivo de interfaz gráfica de usuario 14d adecuado que hace uso de un componente, tal como un ratón o tableta gráfica. El usuario traza simplemente las áreas dentro de la región de interés 50 que se van a eliminar de la consideración, antes que se genere el cable trampa virtual. Las supresiones se pueden hacer utilizando el dispositivo 14d, mientras que las regiones de interés 50 se visualizan en la pantalla 16. Como alternativa, el usuario puede generar estas áreas en un sistema SIG o herramienta gráfica de su elección e importar sus contornos.

Haciendo referencia a la Figura 6, una porción 62 de la pantalla 16 muestra el cable trampa virtual y las cuencas visuales 42a asociadas con los sensores seleccionados 42. Se apreciará que la visualización en la pantalla de ordenador se puede mostrar en la pantalla 16. En este ejemplo, el cable trampa virtual se indica con el número de referencia 64, mientras que las ubicaciones de los sensores se muestran como pequeñas cajas de color rojo llenas. La selección de los seis sensores específicos 42₁-42₆ en este ejemplo produce la superposición cuencas visuales 42a lo que permite que se forme una trayectoria continua, ininterrumpida por el cable trampa virtual 64.

En el ejemplo de la Figura 6, se observará que el cable trampa virtual 64 tiene un "espesor" relativamente pequeño en el punto 66. Por "espesor" se quiere decir que el área geográfica de la cuenca visual alrededor del cable trampa virtual 64 en el punto 66 es muy limitada. Por lo tanto, solo se detectará a un individuo o vehículo que cruce el cable trampa virtual de lo largo de la trayectoria 68 durante un período relativamente corto de tiempo (o sobre un área muy pequeña). Para compensar esto, un campo de "<Recorte" 70 en la porción 60 de la pantalla se ajusta a un número deseado de píxeles de pantalla, donde un píxel de pantalla corresponde a un área determinada definida por la latitud y longitud, por ejemplo, 1 Km de longitud por 1 Km de latitud. Por lo tanto, si el cálculo inicial del cable trampa virtual 64 se realiza con un valor de píxel predeterminado de "1", que corresponde a un kilómetro cuadrado, entonces el espesor del cable trampa virtual construido será de al menos 1 Km en todos los puntos a lo largo del cable trampa virtual 64 (suponiendo que no se permiten lagunas). Por lo tanto, si el usuario introduce un valor de "3" en el campo de recorte 70, la optimización del sistema 14 puede volver a calcular la selección de sensores 42 para seleccionar un número adicional de sensores necesarios y las ubicaciones de los sensores para proporcionar el nivel deseado de espesor del cable trampa virtual. Un ejemplo de esto se muestra en la ilustración de la Figura 7 que muestra una solución de ocho sensores para el mismo terreno que en la Figura 6. Las ubicaciones de los ocho sensores producen ocho cuencas visuales correspondientes 42a₁-42a₈. Se observará que las cuencas visuales 42a₆ y 42a₈ se superponen para producir un espesor significativamente mayor en el punto de cruce 66. Esto proporciona un área significativamente mayor sobre la que se puede realizar la detección, así como una duración de tiempo más larga durante la que puede tener lugar la detección.

Haciendo referencia a las Figuras 8 y 9, se puede observar que el usuario tiene la capacidad de definir un "parche inicial" 80 y un "parche final" 82 para definir los límites del cable trampa virtual que se busca. Las Figuras 8 y 9 muestran también que con el fin de resolver un problema de maximización del área de cobertura, el usuario puede ajustar también el número de sensores seleccionados para adaptar las posiciones de las cuencas visuales 42a de modo que un mayor porcentaje del área de interés 84 se cubra por el cuencas visuales 42a. Esto se logra utilizando un proceso de Formulación para la Maximización del Área que se describirá momentáneamente. Por lo tanto, en la Figura 9, se puede observar que las cinco cuencas visuales 42a se sitúan más centralmente sobre el área de interés 84, y cubren por tanto un porcentaje mucho mayor del área de interés. Haciendo una breve referencia a las figuras 8A-8E, se exponen las operaciones en la realización del proceso de Formulación para Maximizar el Área.

Como se ha mencionado anteriormente en el presente documento, el subsistema de optimización de enteros mixto 14a, entre otras cosas, resuelve un problema de programación de enteros mixto lineales (es decir, un proceso de Formulación para Minimizar Sensores que se describe más adelante) para calcular el número mínimo de sensores y sus ubicaciones para obtener un cable trampa virtual. El problema se puede expresar de forma altamente

simplificada como formando una línea que va discurre desde el nodo inicial al nodo final y encerrada dentro de las cuencas visuales 42a de los sensores 42. En este sentido, se asumen las siguientes definiciones:

5 - una cuenca visual 42a es el área máxima predefinida que un sensor determinado puede cubrir potencialmente. Una posible interpretación de una cuenca visual 42a es puntos sobre el terreno que tienen una trayectoria de línea de visión directa a su sensor asociado 42; y

10 - una "cuña" (w) (por ejemplo, la cuña 42a₄ en la Figura 4) es un componente conectado de una cuenca visual, o dicho de otra manera, una cuña define un conjunto de puntos conectados en una cuenca visual.

Adicionalmente, se considera lo siguiente:

- Donde S_i es una variable binaria, 1 si la i -ésima ubicación del es seleccionada, 0- de lo contrario;

15 - Considerar los nodos correspondientes a las cuñas y los arcos correspondientes a la adyacencia espacial entre pares de cuñas;

- Donde f_{ij} es una variable real no negativa correspondiente al flujo a lo largo del arco del nodo i al j .

20 El proceso de "Formulación para Minimizar Sensores" se puede utilizar a continuación para calcular el cable trampa virtual con un número mínimo de sensores:

$$\begin{aligned}
 & \min \sum s_i \\
 & \text{s.t.} \quad \sum_k \sum_{\text{entrante}} f_{jk} \leq \text{Cantcuñas}_i * s_i \quad \forall \text{ sensores} \\
 & \quad \sum_{\text{entrante}} f_{jk} = \sum_{\text{saliente}} f_{ki} \quad \forall \text{ nodos gráfico} \\
 & \quad \sum f_{ij} = 1,0 \quad \text{para nodos de fuente y deprimidos} \\
 & \quad f_{ij} \geq 0,0 \quad \forall \text{ sin fuente \& depresión} \\
 & \quad f_{ij} \in \mathfrak{R}, s_i \in \{0,1\}
 \end{aligned}$$

25 La formulación anterior calcula un flujo a través del gráfico de adyacencia de cuñas de manera que asegura un flujo que se origina en el nodo inicial y que termina en el nodo final. Si el flujo pasa a través de una cuña, el sensor correspondiente a la misma se selecciona como parte de la solución final. De todas las trayectorias posibles para el flujo a través del gráfico, se elige el que minimiza el número de sensores seleccionados.

30 Las Figuras 9A-9D un ejemplo ilustrativo del proceso de "Formulación para Minimizar Sensores" con 7 sensores potenciales que tienen cuencas visuales 42a₁-42 a₇. Las cuencas visuales 42a₁-42a₇ son diseccionadas en sus subconjuntos contiguos referidos como "cuñas", como se indica en la Figura 9A. En la operación 2, (Figura 9B) se determina la adyacencia para cada par de cuñas. En el enfoque inicial, la adyacencia se define para que exista entre un par de cuñas si poseen una superposición distinta de cero. Las variables de flujo $f_{i,j}$ y $f_{j,i}$ se crean para cualquier par de cuñas de superposición. Las variables de flujo se crean también para cualquier cuña que se superponga sobre el área inicial o área final. Las restricciones en el proceso del Formulación para Minimizar Sensores se construyen de tal manera que el flujo distinto de cero a través de una cuña enciende la variable correspondiente a su sensor. De lo contrario la variable del sensor está apagada. En la operación 3 (Figura 9C), la formulación se resuelve a continuación para adquirir la trayectoria a través de la red que minimiza el número de sensores. En funcionamiento 4 (Figura 9D) se genera un cable trampa gráfico, que va de principio a fin, solo a través de los puntos visibles, mediante esta solución. Uno de tales cables trampas se puede calcular y mostrarse al usuario en la porción de visualización de gráficos 62 de la pantalla 24 y se puede extraer de un archivo de datos.

45 El objetivo de lo anterior es un recuento de los sensores seleccionados. El proceso de optimización busca una solución con una cantidad de sensores mínima sujeta a un conjunto de condiciones. La primera condición asegura que un sensor es parte del conjunto seleccionado si existe un flujo a través de cualquiera de sus cuñas. La segunda restricción garantiza que el flujo se conserva a través de un nodo. La tercera restricción se aplica al nodo inicial y al nodo final asegurando de que la cantidad de flujo de salida neto desde el nodo inicial es una unidad; del mismo modo la cantidad de flujo de entrada neto en el nodo final también está restringida para ser una unidad. La cuarta restricción asegura que el flujo es positivo, para evitar el flujo en una dirección hacia atrás a lo largo de un arco dirigido. Y finalmente, la última restricción restringe las variables de flujo para asumir valores no enteros, mientras

que las variables de sensor se ven obligadas a asumir los valores binarios de 0 ó 1.

El subsistema de optimización de enteros mixto 14a resuelve opcionalmente la siguiente formulación para calcular las colocaciones de sensores que producen un cable trampa virtual y maximizan el área cubierta por el número "K" (definido por el usuario) de cuencas visuales del sensor. El proceso de Formulación para Maximizar el Área se realiza mediante la ampliación del proceso de Formulación para Minimizar Sensores utilizando las siguientes definiciones adicionales:

Donde R representa un subconjunto de la cuenca visual. En un subconjunto de la cuenca visual 42a, cada punto en R está cubierto por el mismo subconjunto del conjunto de sensores 42. Por ejemplo, obsérvese que la cuenca visual 42a en la Figura 4A contiene tres subconjuntos de cuencas visuales: R_1 cubierta solo por el sensor S_1 , R_2 cubierta solo por el sensor S_2 , y R_3 cubierta tanto por S_1 como S_2 , es decir, cubierta por el subconjunto $\{S_1, S_2\}$.

Donde r_k , defina una variable binaria que representa el k -ésimo subconjunto de cuenca visual R_k . Un subconjunto de cuenca visual de este tipo puede ser tan pequeño como un solo píxel. La variable r_k se define para asumir el valor de 1 si se selecciona el k -ésimo subconjunto de cuenca visual durante la optimización; 0 si no.

Donde S_i^k son los miembros del subconjunto del conjunto de sensor 42 que cubren los puntos en el k -ésimo subconjunto de cuenca visual.

Se pueden realizar las siguientes operaciones principales:

- realizar un cálculo inicial para calcular los subconjuntos de cuencas visuales r_k (que podrían ser píxeles muestreados);
- construir el gráfico de adyacencia de cuñas;
- construir un problema de optimización utilizando el proceso de Formulación para Maximizar el Área como sigue:

$$\begin{aligned}
 & \max \sum A_k r_k \\
 & s.t. \\
 & \sum_i S_i^k \geq r_k \quad \forall k \\
 & \sum S_i = K \\
 & \sum_k \sum_{\text{entrante}} f_{jk} \leq \text{CantCuñas}_i \cdot S_i \quad \forall S_i \\
 & \sum_{\text{entrante}} f_{jk} = \sum_{\text{saliente}} f_{kl} \quad \forall \text{ nodos gráfico} \\
 & \sum f_{jk} = 1,0 \quad \text{para fuente y destino} \\
 & f_{ij} \geq 0,0 \quad \forall \text{ sin nodos de fuente, destino} \\
 & f_{jk} \in \mathfrak{R}; \quad S_i, r_k \in \{0,1\}
 \end{aligned}$$

Lo anterior utiliza como una función objetivo el área total cubierta por subconjuntos de cuencas visuales seleccionadas. Una solución para las cantidades desconocidas, en concreto las selecciones de sensor, variables de flujo y selecciones de subconjuntos de cuencas visuales se busca mediante la maximización de la función objetivo sujeta a un conjunto de restricciones. La primera restricción garantiza que si un subconjunto de cuenca visual r_k se selecciona, es decir, $r_k = 1$, al menos uno de los sensores que cubren ese subconjunto de cuenca visual, es decir, se selecciona al menos uno de S_i^k . La segunda restricción anterior asegura que solo se seleccionen el número K de sensores. El resto de las operaciones son idénticas a las del proceso de Formulación para Minimizar Sensores descrito anteriormente y sirven al mismo propósito exacto.

Soluciones alternativas son posibles para el proceso de "Formulación para Minimizar Sensores". La Figura 9E muestra un ejemplo que consiste en seis sensores candidatos.

La Figura 9F representa el gráfico de adyacencia de cuñas para este ejemplo. Las Figuras 9G-9K muestran cinco soluciones de cables trampas diferentes, incluyendo cada uno tres sensores.

Por último, con referencia a la Figura 9L, el subsistema de optimización continua 14b resuelve el problema de optimización continua de rangos y alturas de sensores de ajuste fino. Esto se logra mediante la ejecución de un proceso de "Formulación para Minimizar Rango y Altura" que reduce al mínimo los rangos y las alturas de las ubicaciones de sensores que se calcularon utilizando el subsistema de optimización de enteros mixto 14a. Al describir el proceso de "Formulación para Minimizar Rango y Altura", se añaden las siguientes definiciones:

R_i se define como el rango del i -ésimo sensor. R_i toma valores reales. El cambio de R_i implica un cambio en el tipo de sensor que se está utilizando;

H_i se define como la altura sobre el nivel del suelo a la que se coloca el i -ésimo sensor;

C_i es una constante definida por el usuario que define el coeficiente de coste asociado con el rango del i -ésimo sensor;

D_i es una constante definida por el usuario que define el coeficiente de coste asociado a la altura del i -ésimo sensor;

α es una constante definida por el usuario que define la fracción deseada de cobertura tal como se obtiene a partir de los sensores seleccionados por el subsistema de optimización 14a; "a" está comprendida entre 0,0 y 1,0, y a menudo se elige para ser 1,0.

El proceso de Formulación para Minimizar Rango y Altura se establece de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \min \sum (C_i R_i + D_i H_i) \\ & \text{s.t.} \quad \text{cobertura} \geq \alpha \text{ cobertura (Solución de Enteros Mixto)} \\ & \quad R_i, H_i \geq 0,0 \\ & \quad R_i, H_i \in \mathfrak{R} \end{aligned}$$

Las entradas del proceso del Formulación para Minimizar Rango y Altura incluyen las ubicaciones de los sensores, el cable trampa virtual y el área de cobertura calculada por el subsistema de optimización de enteros mixto 14a. El proceso de optimización anterior mantiene las ubicaciones de latitud y longitud de los sensores de constantes; el mismo solo sus rangos y alturas. En efecto, minimiza la función de coste definida en el objetivo asegurando que el área de cobertura, como se calculada en 14b utilizando las cuencas visuales, se mantenga por encima de un α fracción definida α del área de cobertura de entrada obtenida desde el subsistema de optimización de enteros mixto 14a. La formulación anterior se puede resolver utilizando una variedad de técnicas de optimización continua, tales como la Búsqueda de la Línea de Gradientes, Algoritmos Genéticos, Branch y Bound, etc.

La Figura 9L muestra un gráfico 140 que representa el resultado del proceso de optimización. El gráfico muestra dos ejes 142 y 144. Eje 142 es para los valores del rango del i -ésimo sensor y el eje 144 es para la altura del i -ésimo sensor. Un punto en el gráfica 140 representa una solución particular para el rango y altura del i -ésimo sensor. Para n sensores, el conjunto de n posibles alturas y n rangos se puede representar por una laguna dimensional $2n$. De vuelta a la laguna bidimensional del i -ésimo sensor, considere una línea vertical L en el gráfico, que define un conjunto de soluciones para todos los que tienen un valor de altura fija, pero valores de rango diferentes. Algunas de estas soluciones (a lo largo de la porción 146a) no son factibles, mientras que otras (a lo largo de la porción 146b) son factibles. Una solución factible es una que cumple con los requisitos de las restricciones especificadas en el proceso de Formulación para Minimizar Rango y Altura descrito anteriormente. El límite entre las soluciones factibles y no factibles en la línea L se define por la curva 147.

La función objetivo en el proceso de Formulación para Minimizar Rango y Altura se puede considerar como una suma ponderada de dos objetivos diferentes: siendo uno los rangos de sensores, el otro las alturas del sensor. Para diferentes pesos relativos, tal como se define por C_i y D_i , resultan diferentes soluciones óptimas. La curva 147 en la Figura 9L representa el conjunto de la totalidad de dichas soluciones óptimas. El subsistema de optimización continua 14b puede calcular la curva 147, que se conoce como un "frente de Pareto". El punto A en el gráfico representa un ejemplo de una solución obtenida mediante la resolución del subsistema de optimización de enteros mixto 14a. El subsistema de optimización continua 14b funciona para mover el punto A al punto B, es decir, a una

ubicación cerca o en el frente de Pareto, mientras está todavía en el ámbito de las soluciones factibles. Este movimiento representa una reducción en el coste de la solución debido a que la altura del i -ésimo sensor se minimiza mientras que se sigue proporcionando el i -ésimo sensor con el rango mínimo necesario. El subsistema de optimización continua 14b minimiza simultáneamente el rango y la altura de todos los sensores de entrada.

5 Haciendo referencia a la Figura 6A, se muestra una pantalla de visualización el ordenador ejemplar en la que una porción 60 de la pantalla se proporciona para las diversas entradas de usuario que pueden seleccionarse en la formación del cable trampa virtual, y una porción 62 de la pantalla muestra las entidades gráficas. Se proporcionará una descripción más detallada de las diversas opciones de entrada proporcionadas por el sistema 10. Como se ha explicado anteriormente en el presente documento, el sistema 10 se puede implementar a través de un módulo de software que proporciona una interfaz de usuario con una o más pantallas para permitir la entrada y la modificación de diversos parámetros utilizados por el sistema 10. En la Figura 6A, la porción 60 de pantalla forma la interfaz de usuario, y se conoce como la "interfaz 60". La porción 60 incluye una opción 100 para "Elegir Directorio", que inicia la carga y el procesamiento de un directorio de trabajo del sistema de optimización 14. Este directorio de trabajo contiene las entradas basadas en archivos en el sistema de optimización 14. Estos pueden incluir: un archivo de definición de ubicaciones de todos los sensores candidatos, las cuencas visuales de todos los sensores candidatos, una cuenca visual inicial, una cuenca visual final, un parche de área que define el área de interés, y, opcionalmente, una imagen del terreno para su uso como un telón de fondo en la porción de visualización 62. Los archivos de salida del sistema de optimización 14 se guardan también en este directorio. Las salidas pueden incluir: una lista de sensores elegidos con alturas optimizadas, la forma y la ubicación del cable trampa, y, opcionalmente, la forma y la ubicación de la trayectoria de cruce con mínima observación 68 (como se muestra en la Figura 6). Una "Etiqueta de Resolución" 102 muestra la escala a la que las imágenes se cargan y se muestran.

25 Con más respecto a la Figura 6A, un marco de "Optimización" 104 que tiene un botón "Optimizador de Ejecución" 104b ejecuta la rutina de optimización definida por las opciones seleccionadas por el usuario actualmente seleccionadas en la interfaz 60, una vez que se pulsa el botón Optimizador de Ejecución 104b. La entrada del nombre del archivo de solución en el campo de "Archivo de Solución" 104a proporciona un nombre a la rutina de optimización que se ha seleccionado. Cuando se pulsa el botón "Optimizador de Ejecución" 104b, se procede con la optimización definida por la configuración seleccionada en la pantalla que se muestra en la Figura 6A. Si una optimización anterior se realiza con las mismas opciones de procesamiento de cuencas visuales, ningún procesamiento de cuenca visual se realiza, de lo contrario se procede con el procesamiento que se muestra en las operaciones 1 y 2 de las Figuras 8A y 8B. Las cuencas visuales se rompen en cuñas. Se determina el gráfico de adyacencia de estas cuñas. A continuación, se escribe un archivo LPT. Este archivo se puede procesar por un solucionador de problemas de programación de enteros mixto (MIP). GLPK y Coin-O son ejemplos de dos de estos solucionadores de que se pueden utilizar. Al finalizar, el solucionador genera un archivo de salida. Una vez que el archivo de salida está disponible, el archivo se lee para determinar uno de los cuatro resultados: 1) el problema no es factible; 2) el tiempo del solucionador se agota sin una solución factible, y 3) el tiempo del solucionador se agota con una solución factible, o 4) el solucionador encuentra la mejor solución antes de que expirara el plazo de tiempo. Los resultados se transportan después al usuario con un cuadro de mensaje. Si el resultado era 3) y 4) de los anteriores, las cuencas visuales de la solución se muestran en la caja "VISUALIZAR CUENCAS VISUALES" 112, se añade la solución a la "SOLUCIÓN DE CARGA" representada en la caja de cuencas visuales 111, y el archivo de solución se guarda en el directorio de trabajo. El resultado de las operaciones de optimización se guardará en el directorio de trabajo con el nombre dado en la caja de texto de entrada 104a.

45 La entrada de 106 soporta el proceso de Formulación para Maximizar el Área. Se proporciona un campo de entrada de resolución de cuadrícula 106a y un campo de entrada 106b para un número de sensores 42 seleccionado por el usuario. Si a la resolución de cuadrícula se le asigna el valor de 1, la maximización del área se realiza con la resolución a la que el problema fue cargado. Sin embargo, esto puede crear un problema de programación de enteros mixto lineales extremadamente grande a resolver, es decir, un número extremadamente grande de subconjuntos cuencas visuales r_k . Por esta razón, el usuario tiene la opción de resolver el proceso de Formulación para Maximizar el Área con una menor resolución. Al introducir "1" en el campo 106a se ejecuta la optimización a la más alta resolución (es decir, máxima). Introducir "3" conllevará a una optimización donde cada tercer pixel en la pantalla (vertical y horizontalmente) representará en el cálculo del área de cobertura. El campo de entrada 106b para el número de sensores permite al usuario seleccionar un número determinado de sensores 42a para formar el cable trampa virtual. Sin embargo, la función objetivo en la formulación del área es la maximización del área. Por lo tanto el número de sensores actúa, en realidad, como una restricción. Las restricciones del cable trampa virtuales aún están presentes, por lo que si "K1" es el número de sensores que ha llegado después de la resolución de la *Formulación para Minimizar los Sensores*, entonces una maximización del área necesitaría al menos "K1" sensores, pero podría, por supuesto, tener más. Dejar los campos 106a y 106b en blanco hará que el sistema 10 resuelva el proceso de Formulación para Minimizar los Sensores, es decir, el sistema 10 determinará el cable trampa virtual con el número mínimo de sensores. La colocación de las entradas en los campos 106a y 106b hará que el sistema 10 realice sus operaciones de optimización para construir un cable trampa que tenga el área máxima de cuencas visuales dentro del área de interés. Sin embargo, la alteración de los valores colocados en los campos 106a y 106b no tiene ningún efecto hasta que el proceso de optimización se ejecute realmente.

65

- Con referencia adicional a la Figura 6A, una subsección de "Línea Robusta" 108 permite que se hagan modificaciones en la cuencas visuales 42a y la definición de "adyacencia" en la construcción del gráfico de adyacencia de cuñas antes que se realice cualquiera de las formas de optimización (es decir, número mínimo de sensores o área máxima de cobertura de las cuencas visuales). Estas modificaciones se realizan preferentemente
- 5 antes de la escritura de cualquier problema de programación de enteros mixto lineales y ejecuta las dos optimizaciones exactamente de la misma manera. El "Recorte", como se ha mencionado anteriormente, se representa por un número "n", situado en el campo 108a etiquetado "Anchura de Recorte (m)", y un porcentaje positivo "p", que se coloca por el campo 108b etiquetado "por ciento". Cuando un "n" positivo se elige, se genera una cuenca visual recortada. Una cuenca visual recortada ("CUR") es un subconjunto de una cuenca visual ("V") donde
- 10 cada píxel de la cuenca visual recortada es el centro de un círculo de radio "n" de píxeles, cuyo "p" por ciento son los elementos de la cuenca visual. Esto produce una cuenca visual recortada más pequeña que la original. Cuando una cuenca visual recortada se utiliza para construir el gráfico de adyacencia de cuñas, las soluciones a cualquiera de los dos problemas de optimización descritos anteriormente proporcionan una mayor superposición entre las cuencas visuales adyacentes. Esto produce un cable trampa robusto, es decir, un cable trampa con un espesor implícito por
- 15 los valores especificados por el usuario "n" y "p". Esto se muestra en la Figura 6C, que muestra un ejemplo de dos cuencas visuales adyacentes 42a₁ y 42a₂ que tienen un área de superposición 49. La superposición de 49 representa una fuerte superposición en la ilustración superior de la Figura 6C. Después del recorte positivo, que se muestra en la figura central de la Figura 6C, y que está denoto por el número de área recortada 49a, la superposición sigue existiendo, pero es más pequeña, como se muestra en la ilustración inferior de la Figura 6C. Por
- 20 lo tanto, el menor grado de superposición sigue permitiendo un cable trampa continuo a través del par de cuencas visuales 42a₁ y 42a₂. En la ilustración de la porción superior de la Figura 6D, existe una superposición débil entre las dos cuencas visuales 42a₁ y 42a₂, como se indica por el área de superposición 49. Después del recorte positivo, como se indica por la área 49a en la ilustración central de la Figura 6D, no existe superposición, como se muestra en la ilustración inferior de la Figura 6D. Esto rompe el cable trampa a través de las cuencas visuales 42a₁ y 42a₂. El
- 25 recorte de modo que "n" sea un número negativo, invierte la definición de V y CUR anteriores, de modo que la cuenca visual recortada representa una cuenca visual más grande que la original. Las soluciones a los dos problemas de optimización producen, en este caso, un cable trampa virtual "relajado", que es un cable trampa con lagunas no más que la laguna implicada por la selección de "n" y "p".
- 30 El campo "DistMinmax (m)" de adyacencia 108c permite la "adyacencia" de dos cuñas que se definen como adyacentes solo si la mayor distancia entre dos puntos en su superposición es al menos "m" metros. La "superposición (píxeles)" de adyacencia, en el campo 108d, permite que la adyacencia se redefina de modo que dos cuñas sean adyacentes solo si el número de píxeles de superposición es al menos el valor de entrada de usuario.
- 35 Haciendo referencia adicionalmente a la Figura 6A, cuando un usuario configura su directorio de trabajo, se crean diversos archivos que se pueden utilizar como "capas". Estos archivos se cargan cuando se elige el directorio y están disponibles en los cuadros de selección 110a-110d de la sección 110. Diversas variaciones de un tipo particular se podrían crear y la sección 110 permite al usuario cambiar la capa que se está utilizando actualmente. Las cajas de selección 110a-110d permiten la selección de una de diversas variantes de un tipo particular. El
- 40 específicamente seleccionado en las cajas 110a-110d alterna la visualización de las capas en la porción de visualización 62.
- Dentro de la sección 110, la caja 110a se refiere a un "Barrido", lo que significa que el cable trampa virtual y la superposición se limitan al área no blanca del gráfico que se muestra. Las cuencas visuales se recortan para que
- 45 solo contengan píxeles dentro de la franja antes del cálculo de adyacencia y optimización. La caja 110b se refiere al "Inicio", y es la definición de los píxeles donde se puede originar el cable trampa. Similar al barrido, los píxeles no blancos se consideran como "dentro" del "Inicio", mientras que los píxeles blancos están fuera de los límites. La caja 110c se refiere al "Fin", y define los píxeles donde puede terminar el cable trampa virtual. Similar al barrido, los píxeles no blancos son considerados como "dentro" el Fin, mientras que los píxeles blancos están fuera de los
- 50 límites. La caja 110d se refiere a "Imagen MD", y permite la selección de una imagen que no se utiliza en el proceso de optimización. Proporciona un telón de fondo para las superposiciones que se muestran en el gráfico. Esta imagen puede ser un pantallazo del terreno del SIG 12. La caja de "VISUALIZAR CUENCA VISUAL" 112 se utiliza para seleccionar la cuenca visual de una lista para que aparezca en la superposición.
- 55 Haciendo referencia adicionalmente a la Figura 6A una caja de "SOLUCIÓN DE CARGA" 111 permite al usuario almacenar diversas soluciones con diferentes entradas de parámetros y para volver a cargar los mismos para su comparación. Estos pueden incluir imágenes "INICIALES" e imágenes "FINALES", imágenes de barrido, imágenes de cuencas visuales, imágenes de datos digitales de elevación del terreno (Ddet) y una tabla de posiciones. La tabla de posiciones puede ser una tabla que contiene los nombres y coordenadas geográficas (junto con otros detalles) de
- 60 sensores que componen las soluciones, así como los archivos de datos de elevación en 3D, como el modelo de elevación digital (MED) y el archivo de cabecera MED. El archivo MED contiene datos que definen una cuadrícula de elevaciones, y el archivo de cabecera MED define los metadatos para el MED, por ejemplo, las coordenadas geográficas de un punto de anclaje, el espaciamiento entre los puntos de la cuadrícula y el número de puntos de la cuadrícula. El tamaño de la imagen se determina en base a la forma de las imágenes de cuencas visuales y el
- 65 número máximo de píxeles que figuran en la ficha por defecto de la interfaz. Todas las imágenes se cargan en una memoria (no mostrada) del sistema 10 y están escaladas a este tamaño. Los archivos potenciales de "inicio",

"barrido", y Ddet se enumeran a continuación en una caja de "Selección de Capa" 113 y el primero de cada uno (alfabéticamente) se elige inicialmente y se establece en la caja de "Capas" 110. El único procesamiento de las cuencas visuales realizado en este punto es cargarlas en matrices Booleanas que representan solo el rectángulo más pequeño de la imagen que contiene todos los píxeles no blancos (fuera de la vista). El archivo de posiciones, si está presente, se utiliza para coordinar los archivos de cuencas visuales a la latitud y longitud del sensor correspondiente. Si las soluciones anteriores se encuentran en el directorio elegido, sus nombres aparecen en la caja de "Solución de carga" 111. Si las soluciones anteriores se encuentran en el directorio elegido, sus nombres aparecen en la caja de "Solución de carga" 111. Si el archivo de cabecera MED está presente, se utiliza para establecer el rango de latitud y longitud de las imágenes de cuencas visuales, y el tamaño de un píxel en la resolución actual. Estas dimensiones se muestran a continuación en la sección de "Escala" 120. Si el MED flotador de cuadrícula está presente, las elevaciones se leen desde el archivo correspondiente a cada píxel con la resolución actual.

Con respecto a la caja "Elegir Capas" 113, después de cargar un directorio, imágenes "iniciales", "finales", "de barrido" y Ddet se pueden elegir como la imagen "actual" para la imagen combinada a la derecha y (a excepción de la Ddet), la imagen correspondiente al siguiente ciclo de optimización. En cuanto a la caja de "Capas" 110, hacer clic en cualquiera de las casillas de verificación 110a-110d obliga a volver a dibujar una combinación de lo siguiente: todas las cuencas visuales actualmente activas; la imagen "inicial" activa, la imagen "final" activa, la imagen de "barrido" activa, y la imagen de "Ddet" (es decir, contexto) actualmente activa. El cuadro "SOLUCIÓN DE DATOS" 114 se puede utilizar para mostrar los resultados de las operaciones de análisis realizadas en la solución actualmente cargada. La selección "Área Entera" 114a representa un cálculo de la cobertura porcentual para todos los píxeles en la región. La cobertura significa que al menos una cuenca visual incluye ese píxel. La selección "Área de Barrido" 114b genera un cálculo de la cobertura porcentual para todos los píxeles no blancos el gráfico de barrido. La selección "Redundancia" 114c es el porcentaje de píxeles de la unión de las cuencas visuales que están cubiertos por al menos dos cuencas visuales. La selección "Distancia de Irrupción" 114d proporciona el número de píxeles (o distancia correspondiente) a lo largo de la trayectoria de cruce que tiene observación mínima (68 en la Figura 6) que está cubierta por uno o más de los sensores seleccionados. Esto se corresponde con el espesor mínimo del cable trampa virtual. La selección "Longitud de Trayectoria" 114e es la longitud total (en píxeles o en metros) del cable trampa virtual determinada por el algoritmo que calcula la TrayMin. El "CortMin" 118 ejecuta un algoritmo que determina, en relación con la solución actualmente cargada, el número mínimo de píxeles cubiertos que una trayectoria tendría que atravesar para viajar desde el borde sur hasta el borde norte. Una de estas trayectorias se muestra después en la interfaz. Los valores actuales de "inicio" y "fin", son también relevantes para este cálculo. El resultado se puede combinar en la superposición. El número de píxeles en vista de este corte se convierte en una medida de distancia y se muestra como el diagnóstico de "Dist de Irrupción" en 114d. La "TrayMin" 116 ejecuta un algoritmo que determina el número mínimo de píxeles, totalmente dentro de la solución actual, que una trayectoria tendría que atravesar para viajar desde los píxeles iniciales a los píxeles finales. Una de tales trayectorias se puede mostrar después en la porción de visualización 62. El resultado se puede combinar en la superposición y escribirse en un archivo de datos. El número de píxeles en la trayectoria se convierte en una medida de distancia y se muestra como la "Longitud de Trayectoria" en la caja de "SOLUCIÓN DE DATOS" 114. Debido a que el cable trampa virtual puede no ser único, se puede observar que el diagnóstico de "Longitud de Trayectoria" es la longitud mínima de todos los cables trampas.

La caja de "ESCALA" 120 en la Figura 6A utiliza los datos del modelo de elevación digital para indicar los extremos y las dimensiones del terreno cargado. La región es rectangular en coordenadas geográficas. La fila "min" muestra las coordenadas geográficas, es decir, la latitud y la longitud, de la esquina inferior izquierda del rectángulo, la fila "max" muestra las coordenadas geográficas de la esquina superior derecha. "Pixel (m)" muestra el tamaño en metros de cada píxel del gráfico cargado de la región. La caja "MENSAJES" 122 muestra los mensajes del progreso de la optimización. Además, la ejecución de un dispositivo de entrada de usuario, tal como un ratón sobre la porción de visualización 62 puede hacer que un texto de latitud y longitud en 122 muestre las coordenadas de la posición actual del ratón.

Con referencia adicional a la Figura 6A, las Pestañas 124a-124f en la esquina inferior izquierda de la porción de la pantalla proporcionan diversas opciones. La selección de la pestaña "Todo" 124a muestra las tres primeras columnas de entradas (es decir, todas las entradas bajo los encabezados de "OPTIMIZACIÓN", "CAPAS" y "SOLUCIÓN DE CARGA"). Seleccionar la pestaña "Optimización" 124b muestra la primera columna de entradas (es decir, bajo el encabezado de "OPTIMIZACIÓN"). Seleccionar la pestaña "Mostrar" 124c muestra la segunda columna de entradas (es decir, bajo "CAPAS"). Seleccionar la pestaña de "Soluciones" 124d muestra la tercera columna de entradas bajo "SOLUCIÓN DE CARGA". Seleccionar la pestaña "Crear Imágenes" 124e es una selección opcional que muestra un conjunto de comandos que se pueden utilizar para crear los archivos "iniciales" y "finales". Seleccionar la pestaña "Configuración" 124f hace que otra pantalla que se muestra en la Figura 6B se muestre, donde se proporcionan entradas adicionales para otros parámetros de optimización que deben introducirse.

La Figura 6B muestra otros parámetros de optimización que se pueden acceder desde la pantalla mostrada. El campo "Max Píxeles" 126 permite la reducción a escala de todas las imágenes cargadas. La selección "Tiempo GLPSOL " selección 128 establece un tiempo de ejecución máximo permitido por el usuario para resolver el problema de optimización. La "Intensidad de Mezcla de Imagen " 130 permite que la imagen de fondo (imagen de

MD) tenga mayor o menor intensidad en la superposición. La selección "Anchura de Marco de Imagen" 132 establece la anchura (y altura) del marco de imagen 62 de la interfaz. Los monitores de visualización de menor resolución pueden necesitar la capacidad de disminuir el tamaño de este elemento de interfaz gráfica de usuario. El campo de "Trayectoria de Carga Automática (Limpiar/Configurar)" 132 establece una trayectoria hacia un directorio de trabajo del sistema de optimización 14 que se carga automáticamente cuando se inicia el sistema de optimización 14.

Cuando se utiliza el sistema 10, y con referencia adicional, por ejemplo, a la Figura 6A, la colocación de un dispositivo tal como un ratón, que puede formar una porción de la interfaz de usuario 60, a través de una superposición que aparece en la porción de visualización 62 calculará la latitud y longitud correspondientes a la posición actual del ratón. Las coordenadas se muestran en la caja de mensajes en la porción inferior de la interfaz. Si el MED Float de Cuadrícula está presente, la elevación en este punto se puede mostrar también en la caja de mensaje 122. Al hacer clic en el ratón, mientras que el ratón se coloca sobre uno de los puntos de la porción de visualización 62 que se representa un sensor incluirá o excluirá ese sensor del grupo actual de sensores activos. Esto puede añadirlo o eliminarlo de la caja de "VISUALIZAR CUENCAS VISUALES" 112, actualizar el Diagnóstico de Solución de Datos y cuando se ejecuta el algoritmo "Tray Min" o "Cort Min", este sensor se puede incluir.

Haciendo referencia ahora a la Figura 10, un diagrama de flujo 200 muestra de las operaciones ejemplares realizadas por una implementación del sistema 10. Inicialmente, la entrada 202 proporciona las ubicaciones de toda la cantidad de sensores candidatos 42, junto con las cuencas visuales 42a para cada sensor. Como se ha explicado anteriormente, un número predeterminado de sensores se puede programado en el sistema 10 para que el sistema inicie sus cálculos con, por ejemplo, 800 sensores. Como alternativa, el sistema 10 puede proporcionar una entrada para permitir al usuario proporcionar un número deseado de sensores para iniciar el proceso de cálculo. En este ejemplo, 800 sensores 42 sería un número que se espera que sea suficiente para la formación de un cable trampa virtual a través del área de interés. Sin embargo, este número podría ser 20, 50, 100, 10.000 o cualquier otro número, que se espera que sea suficiente para el área de interés.

En la operación 204, el subsistema de optimización 14 analiza cada cuenca visual 42a y determina las cuñas que componen cada cuenca visual dentro del área de interés. La operación 204 puede hacer uso de la información del área de interés y del área de la restricción del cable trampa prevista en la operación 204a para realizar el análisis y los cálculos en la operación 204.

En la operación 206 una investigación se puede hacer en cuanto a si se puede formar un cable trampa virtual "Normal", "Robusto" o "Relajado". Por ejemplo, un cable trampa normal puede estar compuesto de un número de cuencas visuales 42a que forman una línea continua, ininterrumpida a través del área de interés. Un cable trampa "robusto" puede ser un cable trampa virtual que tiene un espesor mínimo relativamente grande en toda su longitud, tal vez 1 Km. Un cable trampa "relajado" puede ser un cable trampa virtual formado con un número de cuencas visuales que permiten lagunas de una distancia máxima especificada (por ejemplo, 1 Km) entre dos cuencas visuales adyacentes.

Si se ha de formar un cable trampa robusto, entonces, las cuencas visuales recortadas (CUR) se pueden calcular en la operación 208 utilizando un espesor especificado por el usuario como una entrada de la entrada 208a. Si se ha de formar un cable trampa relajado, entonces, se utilizan cuencas visuales recortadas con una anchura de ajuste negativo en la operación 210 (por ejemplo, para proporcionar una laguna máxima de 1 Km).

En la operación 212, el subsistema de optimización de enteros mixto 14a puede calcular un gráfico de adyacencia de cuñas como se ha explicado anteriormente. En la operación 214, los nodos inicial y final que son introducidos por el usuario en la operación 214a se añaden al gráfico de adyacencia de cuñas. Estos nodos son los nodos que están asignados al parche inicial designado por usuario 80 y al parche final designado por usuario 82 descritos en relación con la Figura 8.

En la operación 216 se hace una investigación de si el área de cobertura de los sensores seleccionados 42 resultantes de las cuencas visuales 42a se tiene que maximizar. Si es así, entonces se obtiene de nuevo el número de sensores utilizados en la determinación anterior, en la entrada de usuario 218a, y el proceso de *Formulación para Maximizar el Área* se construye en la operación 218. Si la investigación en la operación 216 produce una respuesta "No", entonces la operación 220 utiliza el proceso de *Formulación para Minimizar Sensores*. En la operación 222, los solucionadores de programas de enteros mixtos lineales (PEML) se invocan en los problemas construidos anteriormente para realizar los cálculos necesarios para resolver el problema. En la operación 224, el cable trampa virtual actual se distribuye en el área de interés. En esta operación, las ubicaciones de los sensores se pueden establecer también (es decir, superponer) en el área de interés mostrada, junto con las cuencas visuales de cada sensor. El usuario puede realizar opcionalmente un análisis adicional de la solución obtenida. El usuario puede determinar que otra iteración del diseño del cable trampa se va a realizar mediante un espesor diferente del cable trampa, como se indica por la línea de bucle de retorno 226.

El sistema 10 y la metodología de la presente divulgación permiten, por tanto, que grandes áreas geográficas sean supervisadas con un número mínimo de sensores de acuerdo con los parámetros de entrada del usuario. El sistema

- 10 es capaz de construir un cable trampa virtual a través de una región de interés designada con un número mínimo de sensores necesarios para lograr, ya sea una trayectoria ininterrumpido, o una trayectoria que tiene lagunas de longitud máxima designados por el usuario espaciados largo de la misma. El sistema 10 considera ventajosa la topografía que existe dentro de la región de interés y es capaz de construir un cable trampa virtual que determina de
- 5 forma más rentable las ubicaciones para el número deseado de sensores que forman el cable trampa virtual. Diversas entradas de usuario permiten la flexibilidad durante el proceso de construcción del cable trampa de modo que se puede lograr el espesor del cable trampa, así como la maximización del área de cobertura de las cuencas visuales a través de las que se extiende el cable trampa.
- 10 Aunque se han descrito diversas realizaciones, los expertos en la materia reconocerán las modificaciones o variaciones que pudieran realizarse sin apartarse de la presente divulgación. Los ejemplos ilustran las diversas realizaciones y no pretenden limitar la presente divulgación. Por lo tanto, la descripción y las reivindicaciones deben ser interpretadas liberalmente con solo tal limitación como siendo necesaria en vista de la técnica anterior pertinente.

15

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador para la formación de un cable trampa virtual (64) a través de una subregión de un área de interés (40), comprendiendo el método:
- 5 realizar un análisis geométrico de un modelo digital del terreno en dicha subregión, determinando dicho análisis geométrico una ubicación para cada uno de una pluralidad pre-designada de sensores candidatos (42) que potencialmente pueden ser utilizados en la formación de dicho cable trampa virtual de (64), y una cuenca visual (42a) para cada uno de dichos sensores candidatos (42), representando cada una de dichas cuencas visuales (42a) una región de cobertura para su dicho sensor candidato asociado (42);
- 10 definir un punto inicial geométrico (80) y un punto final geométrico (82) dentro de la subregión para dicho cable trampa virtual (64); y
- 15 analizar dichas cuencas visuales (42a) en respuesta a dicho análisis geométrico para determinar un número mínimo de dichos sensores candidatos (42) requeridos para formar una trayectoria para dicho cable trampa virtual (64) desde dicho punto inicial (80) hasta dicho punto final (82).
2. El método de la reivindicación 1, donde cada una de dichas cuencas visuales (42a) está dividida en una pluralidad de cuñas (42a₁, 42a₂...42a_n), definiendo cada una de dichas cuñas (42a_n) un subconjunto de puntos que tiene una trayectoria de línea de visión sin obstáculos directa a su dicho sensor asociado (42).
- 20 3. El método de la reivindicación 2, donde cada una de dichas cuña de cuenca visual (42a_n) forma un nodo (Nodo_n), y en caso de superposición entre las cuñas (42a_n) diferentes de cuencas visuales (42a, 42a') forma un arco dentro de un gráfico de adyacencia de cuñas.
- 25 4. El método de la reivindicación 2, donde dicho análisis de dichas cuencas visuales (42a) comprende la búsqueda de superposición de las cuñas (42a_n) de cuencas visuales (42a, 42a') diferentes que definen una trayectoria de longitud continua, ininterrumpida para dicho cable trampa virtual (64).
- 30 5. El método de la reivindicación 1, donde dicho análisis de dichas cuencas visuales (42a) para determinar un número mínimo de dichos sensores candidatos (42) comprende analizar dichas cuencas visuales (42a) para determinar un número mínimo de dichas cuencas visuales (42a) que permite que dicho cable trampa virtual (64) sea creado con lagunas de distancia predeterminada entre las cuencas visuales (42a) adyacentes, para formar de este modo una trayectoria no continua para dicho cable trampa virtual (64).
- 35 6. El método de la reivindicación 4, donde dicho análisis de dichas cuencas visuales (42a) comprende la solución de un problema de enteros lineales utilizando dichas cuñas de superposición (42a_n) de dichas cuencas visuales (42a, 42a') adyacentes para determinar dicho número mínimo de sensores candidatos (42) necesario para formar dicha trayectoria continua.
- 40 7. El método de la reivindicación 1, donde dicha cuenca visual (42a) de uno dado de dichos sensores candidatos (42) comprende una porción de dicha subregión de dicha área de interés (40), donde una línea de visión puede existir desde cualquier punto dentro de dicha porción de dicha subregión dada hasta dicho uno de los sensores candidatos (42).
- 45 8. El método de la reivindicación 7, que comprende además designar las porciones (52) de dicho terreno que no se tienen que considerar antes de realizar dicho análisis geométrico de dicho terreno en dicha subregión de dicha área de interés (40).
- 50 9. El método de la reivindicación 1, que comprende además definir un espesor de distancia mínima de dicho cable trampa virtual (64), y analizar dichas cuencas visuales (42a) para determinar un número mínimo de dichos sensores candidatos (42) que permita que dicho cable trampa virtual (64) se forme con dicho espesor de distancia mínima.
- 55 10. El método de la reivindicación 1, que comprende además visualizar, en una pantalla, dicho cable trampa virtual (64) sobrepuesto en un modelo de elevación digital de dicho terreno en dicha subregión de dicha área de interés (40).
- 60 11. El método de la reivindicación 10, que comprende adicionalmente mostrar, en dicha pantalla, dichas cuencas visuales (42a) de los dichos sensores candidatos (42) seleccionados que han sido utilizados para construir dicho cable trampa virtual (64), estando dicho virtual de cable trampa (64) superpuesto sobre dichas cuencas visuales (42a) de los dichos sensores candidatos (42) seleccionados.
- 65 12. El método de la reivindicación 1, que comprende permitir que una anchura de recorte negativo sea seleccionada antes de analizar dichas cuencas visuales (42a), representando dicha anchura de recorte negativo un segmento de distancia máxima a lo largo de dicho cable trampa virtual (64) cuando dicho cable trampa virtual de (64) es determinado, donde no existe superposición de cuencas visuales entre dos de dichos sensores candidatos (42) adyacentes.

13. El método de la reivindicación 1, donde dicho análisis de dichas cuencas visuales (42a) para determinar un número mínimo de dichos sensores candidatos (42) comprende analizar dichas cuencas visuales (42a) para determinar un número mínimo de al menos uno de dispositivos de radar y dispositivos de formación de imágenes ópticas utilizados para formar dicho cable trampa virtual (64).

5 14. Un sistema para la formación de un cable trampa virtual (64) a través de una subregión de un área de interés (40), comprendiendo el sistema:

10 un sistema de información geográfica (12) para la realización de un análisis geométrico de un modelo digital del terreno en dicha subregión, disponiéndose dicho sistema de información geográfica (12) para determinar una ubicación para cada uno de una pluralidad pre-designada de sensores candidatos (42) que potencialmente pueden ser utilizados en la formación de dicho cable trampa virtual (64), y una cuenca visual (42a) para cada uno de dichos sensores candidatos (42), representando cada una de dichas cuencas visuales (42a) una región de cobertura para su dicho sensor candidato asociado (42); y

15 un sistema de optimización (14) sensible a la información generada por dicho sistema de información geográfica (12) para el análisis de dichas cuencas visuales (42a) para determinar un número mínimo de dichos sensores candidatos (42) necesarios para formar una trayectoria desde un punto inicial designado (80) hasta un punto final designado (82) dentro de la subregión de la trayectoria que representa el cable trampa virtual (64).

20 15. El sistema de la reivindicación 14, que comprende además un sistema de visualización (16) adaptado para mostrar una representación del cable trampa virtual (64).

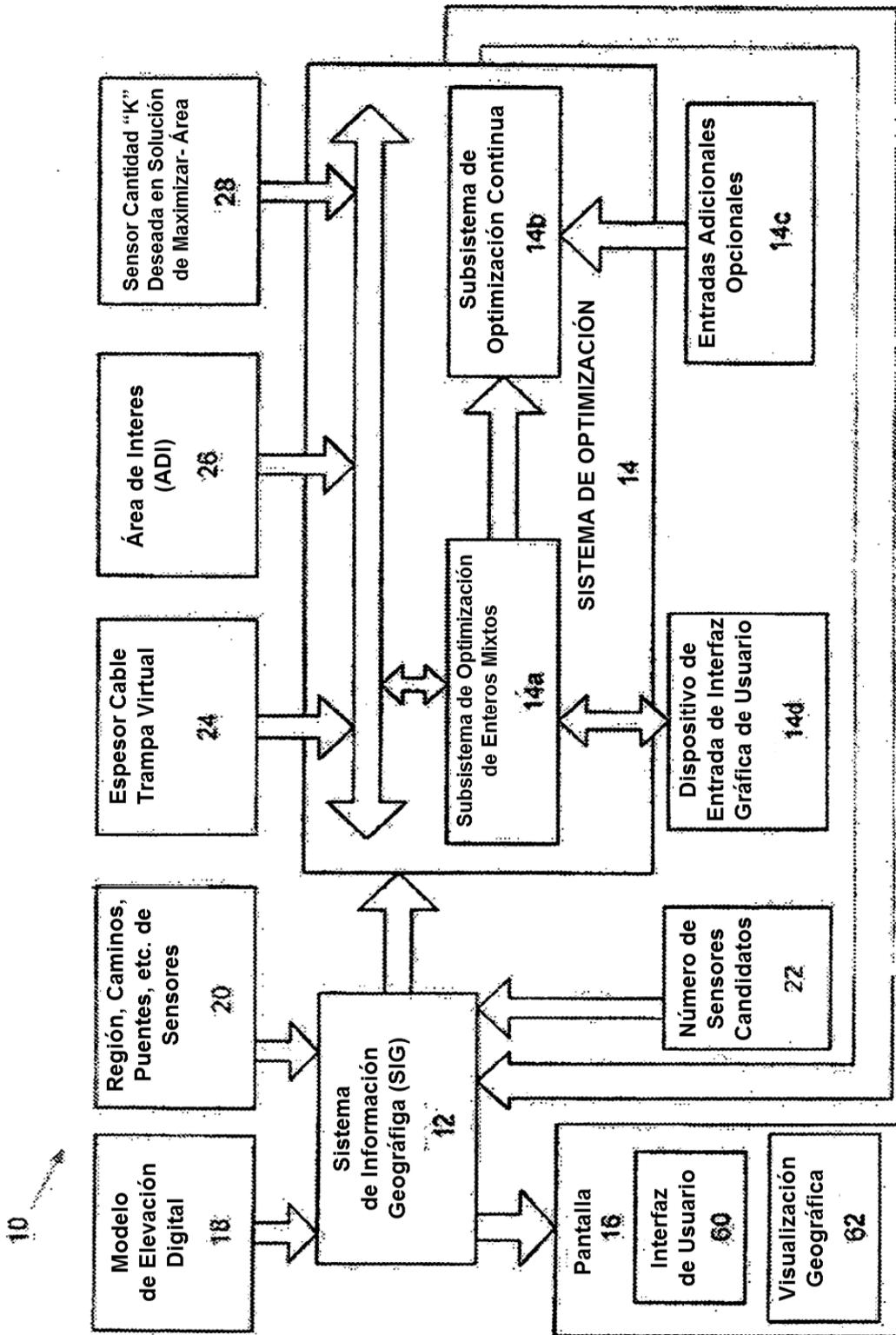


FIGURA 1

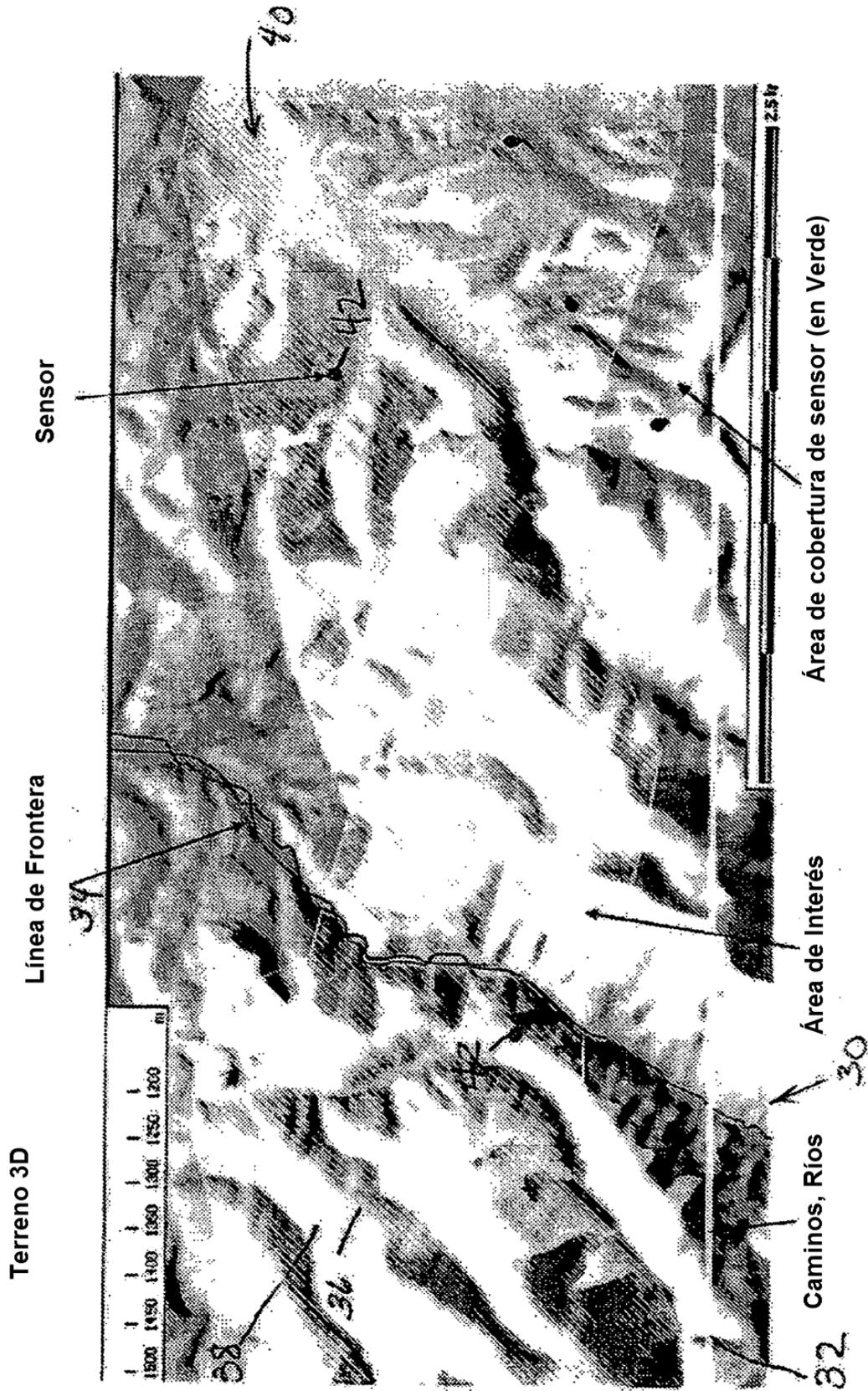


FIGURA 2

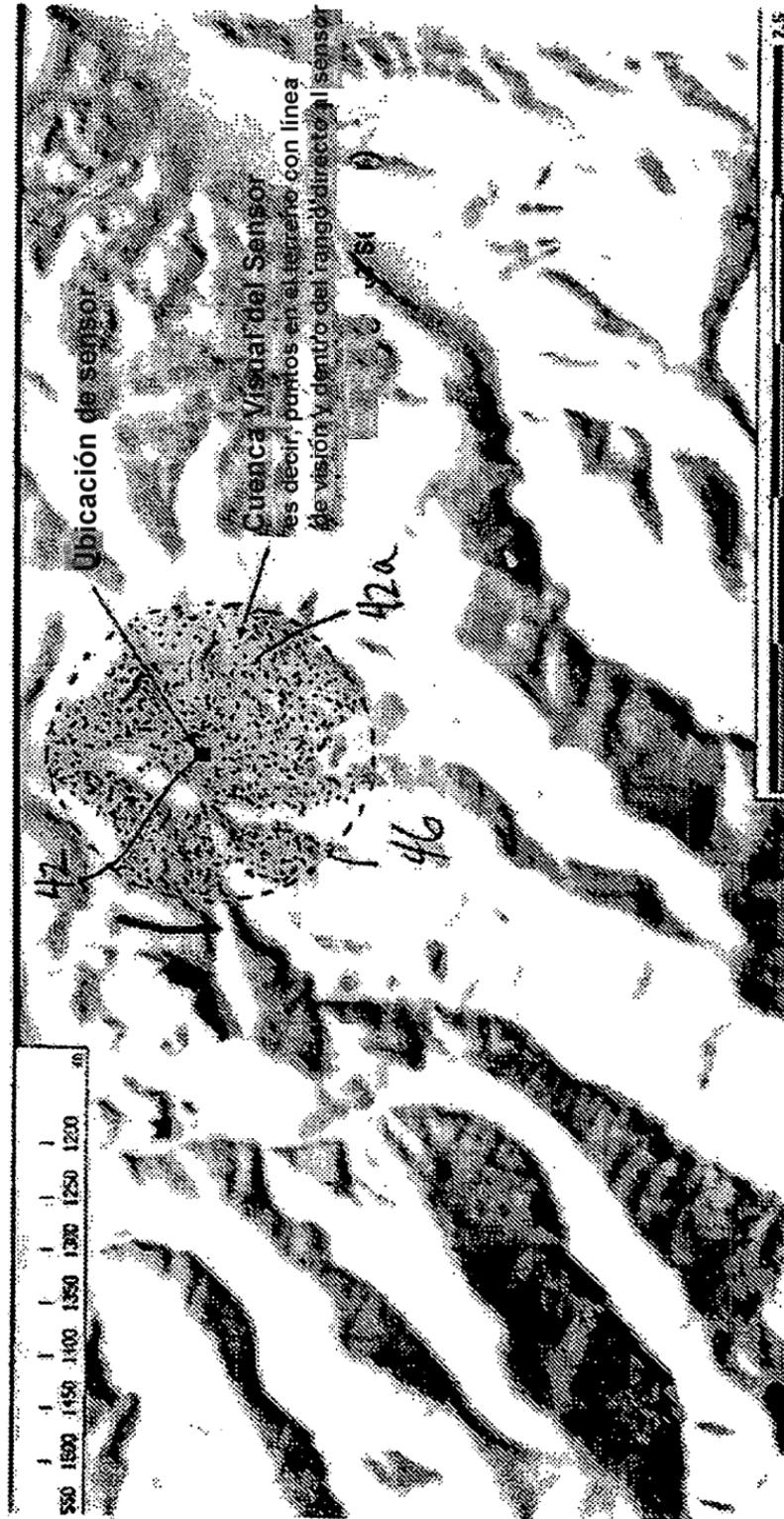


FIGURA 3



FIGURA 4

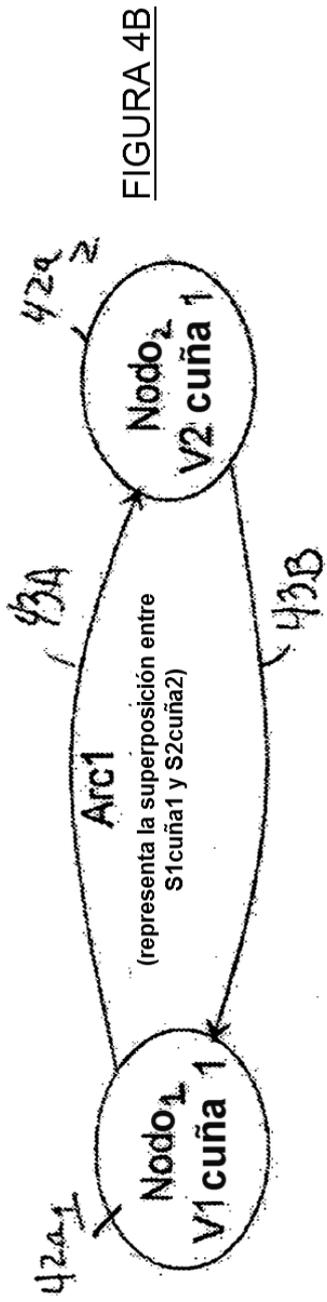


FIGURA 4B

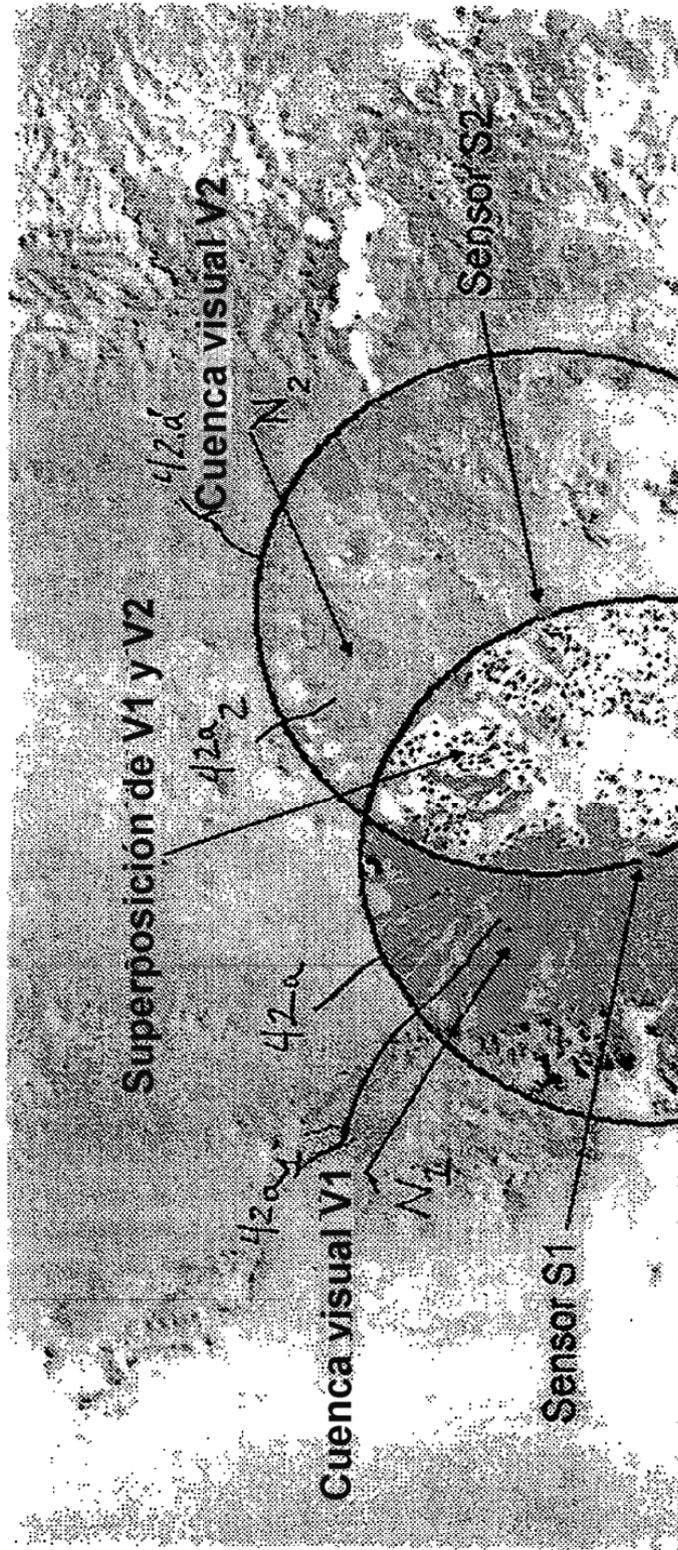
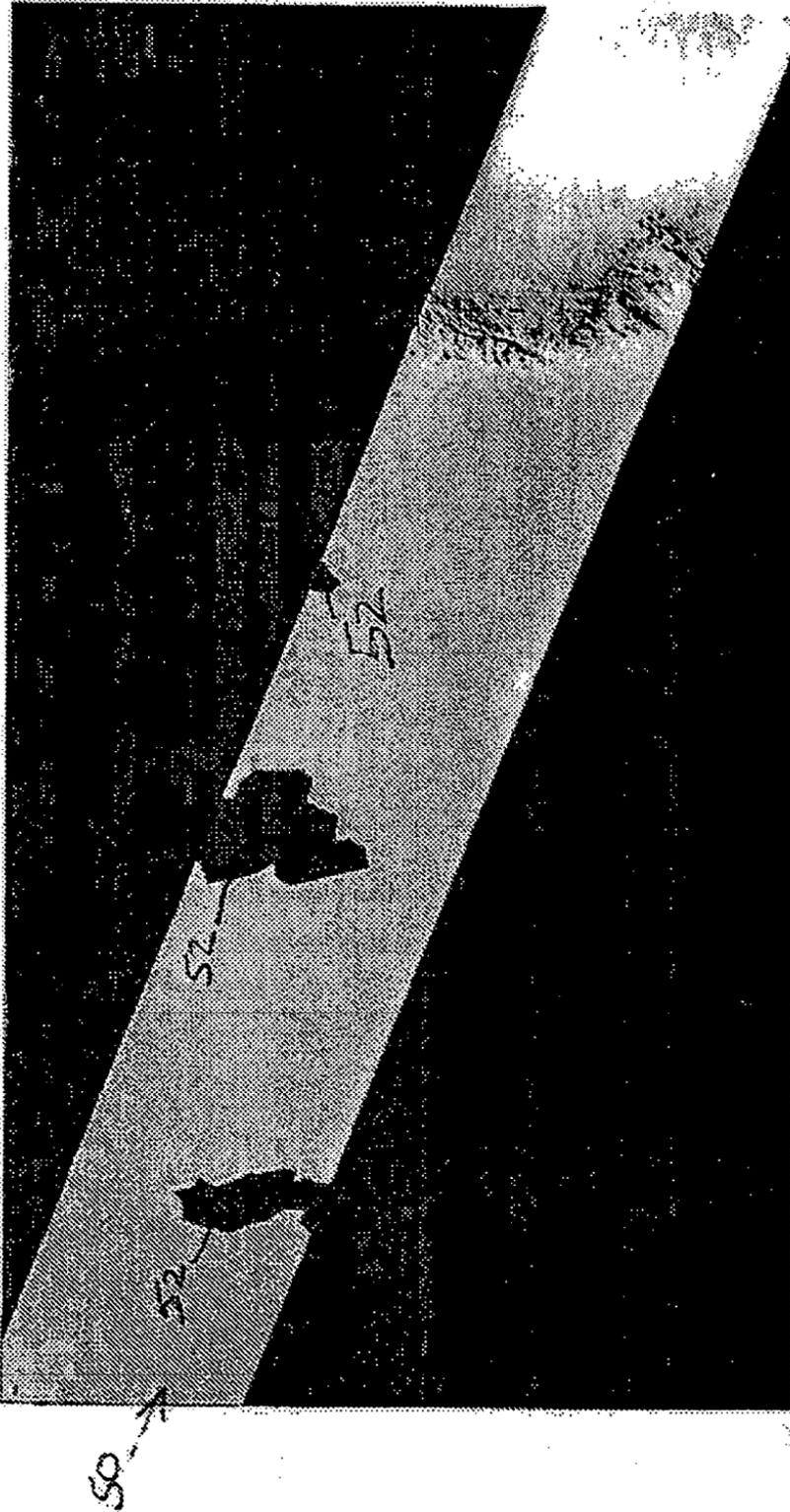


FIGURA 4A



Como alternativa, se podría enmascarar en áreas permitidas.

FIGURA 5

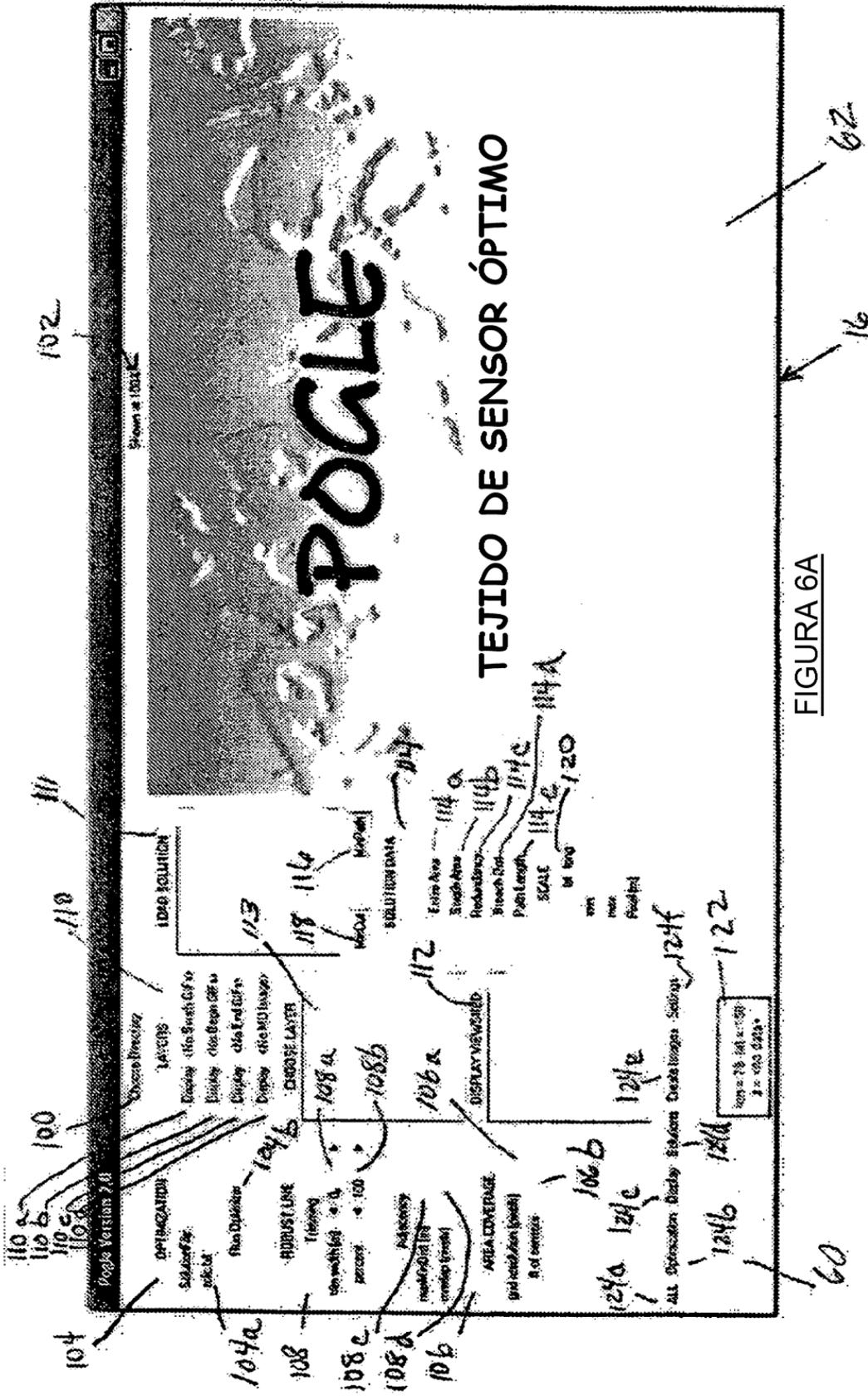
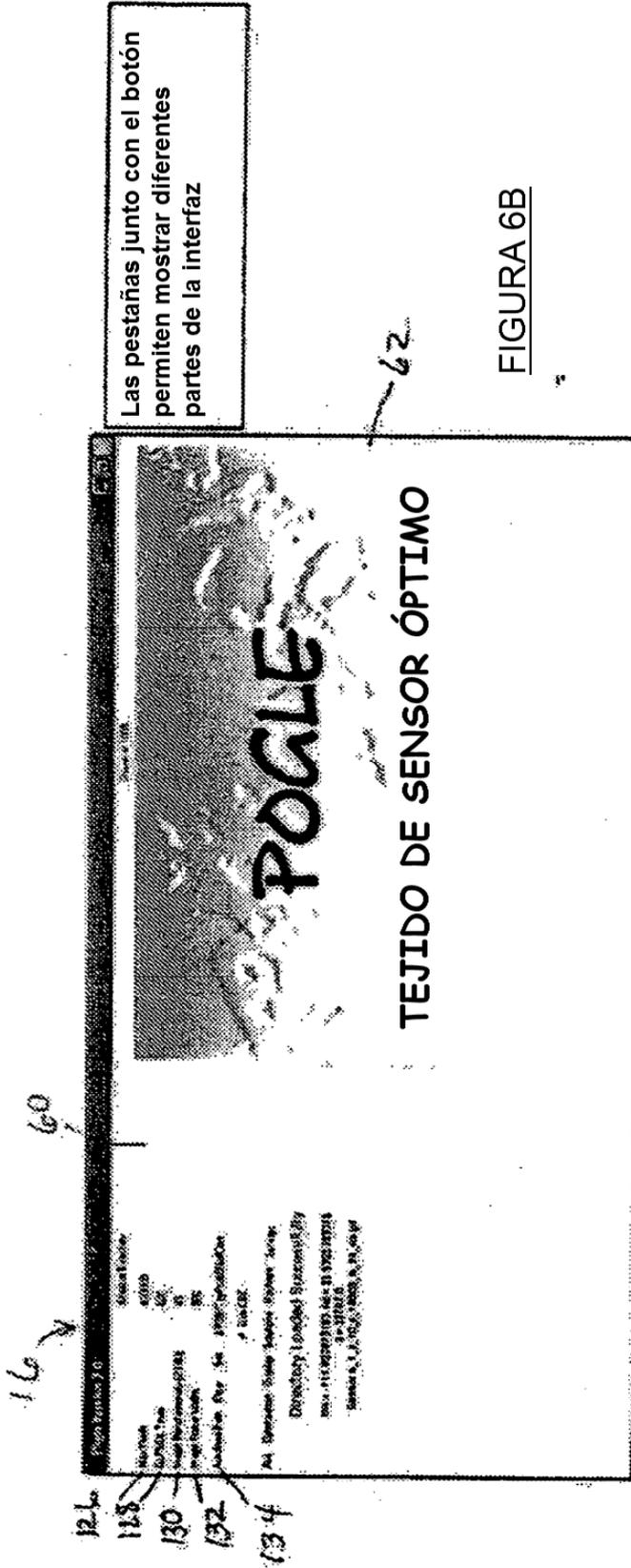


FIGURA 6A



Las pestañas junto con el botón permiten mostrar diferentes partes de la interfaz

FIGURA 6B

Pestañas de Ajustes

Max Píxeles: Permite la reducción a escala de todos los archivos cargados.

Tiempo GLPSOL (segundos): establece un tiempo máximo durante el que se permite la ejecución del solucionador de PL gipsol

"Intensidad de Mezcla de Imagen [20-80]: Permite que la imagen de fondo (imagen MD) tenga mayor o menor intensidad en la superposición.

Anchura de Marco de Imagen: Establece la anchura (y altura) del marco de imagen de IGU. Monitores de menor resolución necesitan la capacidad de disminuir el tamaño del elemento de IGU.

Trayectoria de Carga Automática (Limpiar/Configurar): establece una trayectoria hacia un directorio de trabajo del sistema de optimización que se cargará automáticamente cuando se inicia el sistema de optimización.

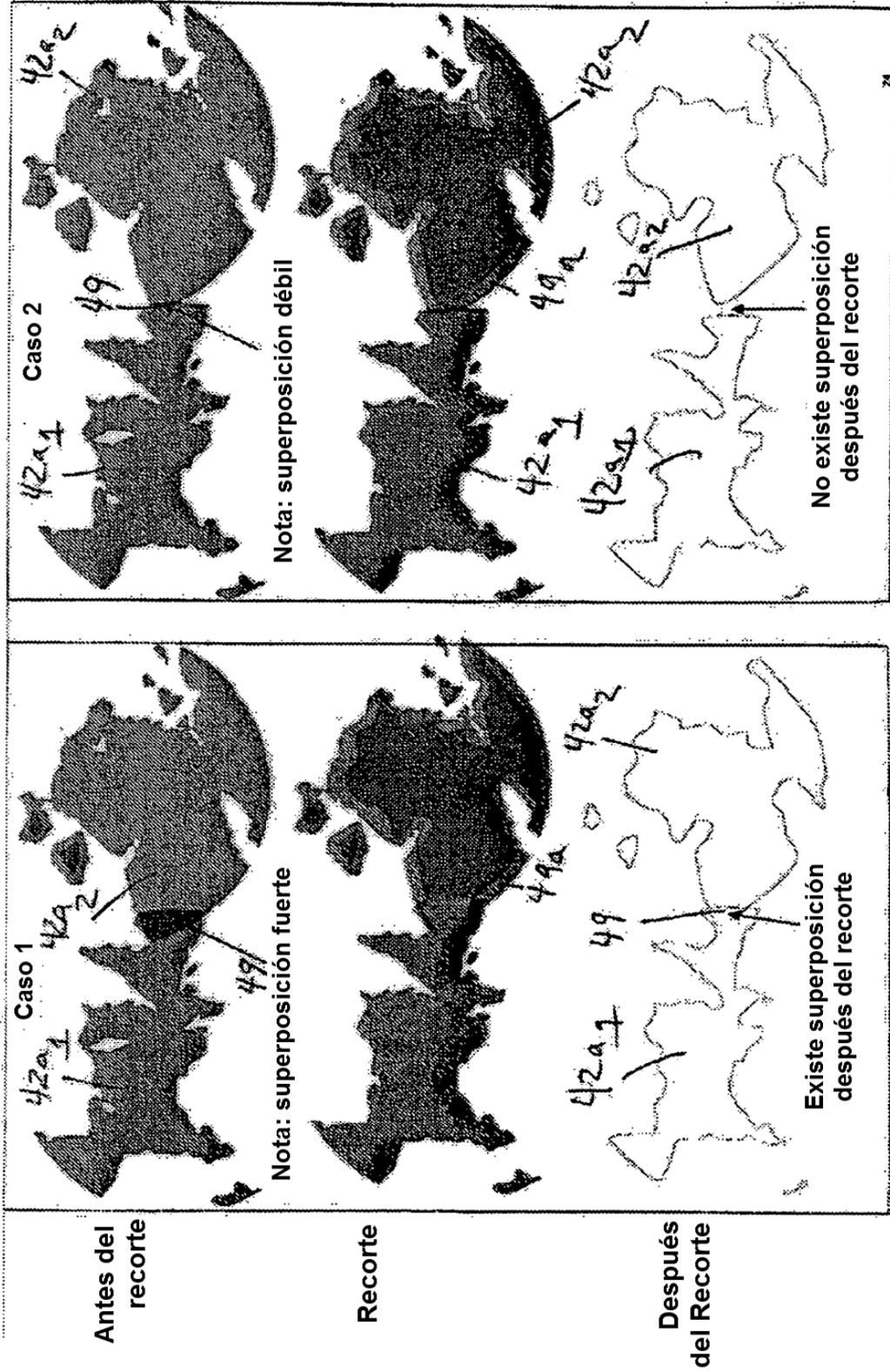
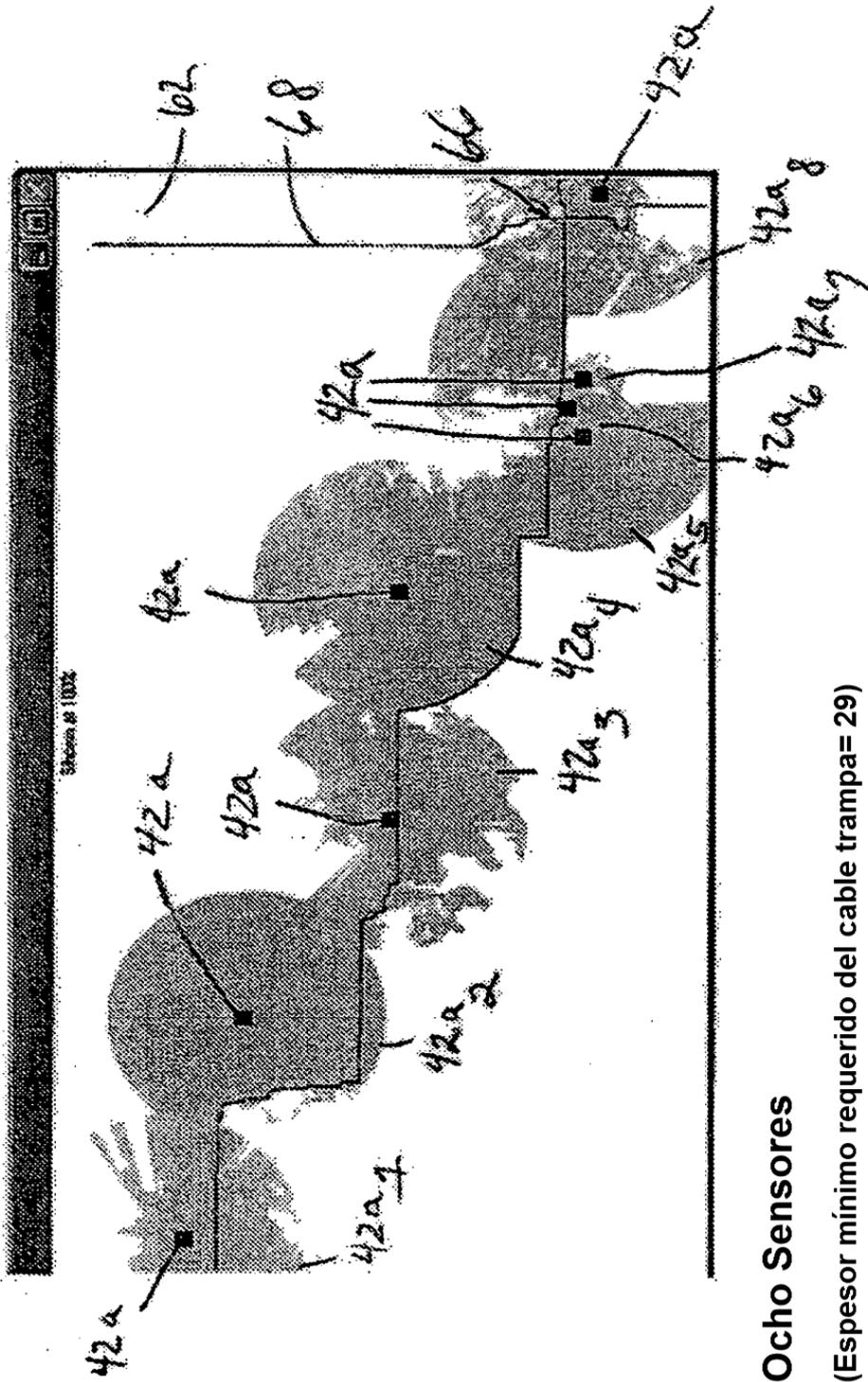


FIGURA 6D

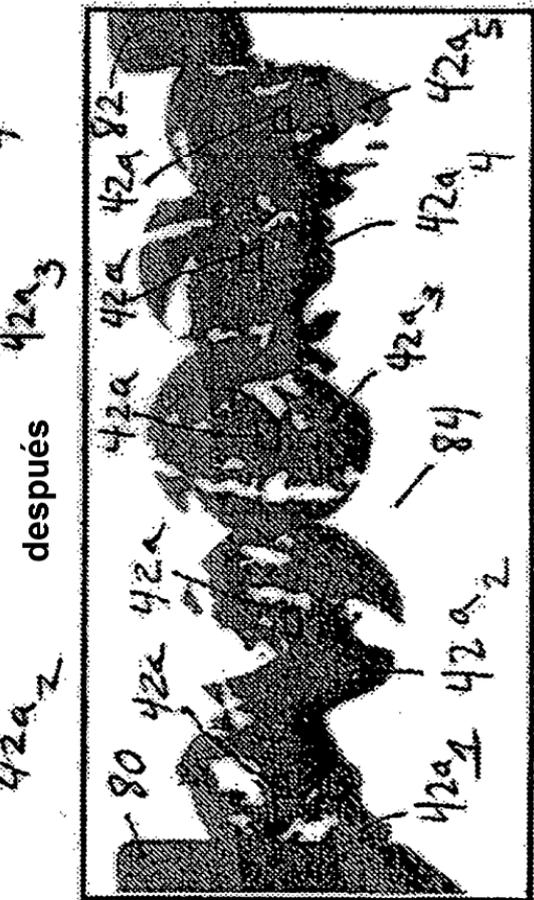
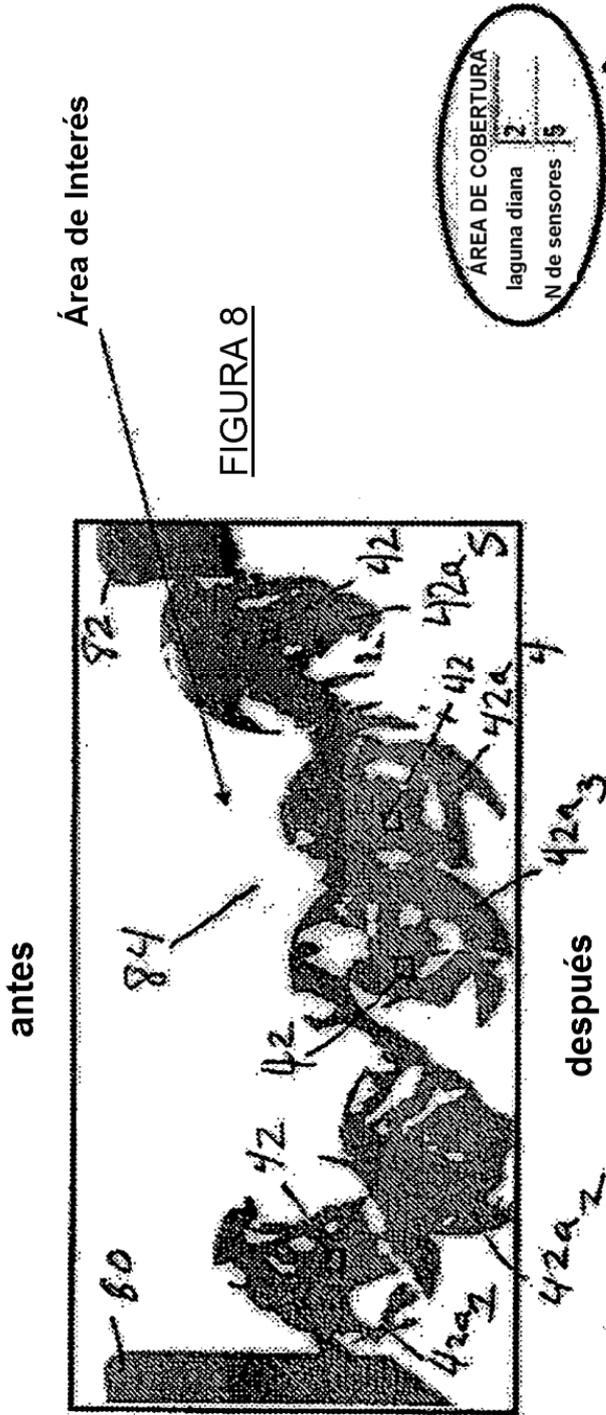
FIGURA 6C



Ocho Sensores

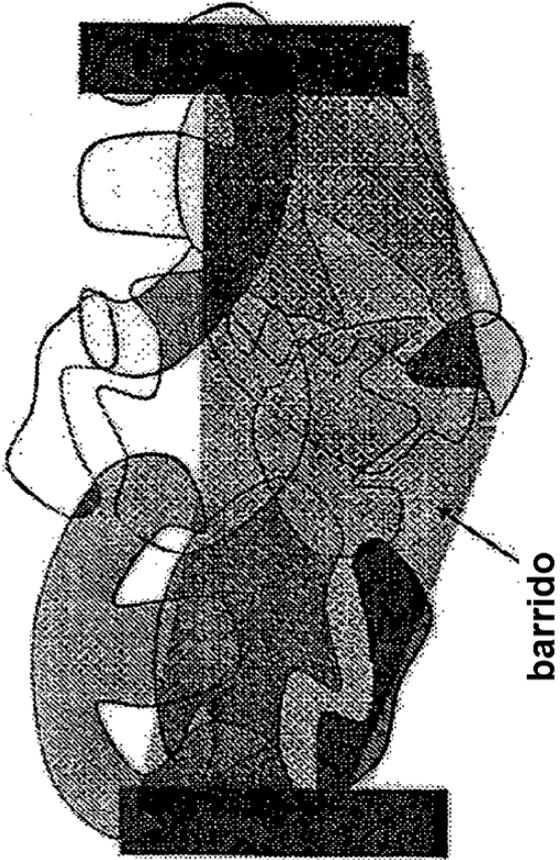
(Espesor mínimo requerido del cable trampa= 29)

FIGURA 7



Etapa 1: Definir barrido

FIGURA 8A



Etapa 2: Seleccionar resolución de cuadrícula para obtener puntos sobre los que se maximizará el área

FIGURA 8B

Etapa 3: introducir "número de sensores"
(3 en este ejemplo, obtenido de la Formulación para Minimizar Sensores)

Etapa 4: Resolver Maximizar Área
(solución obtenida es Caso c)
(Casos a, b son para fines ilustrativos)

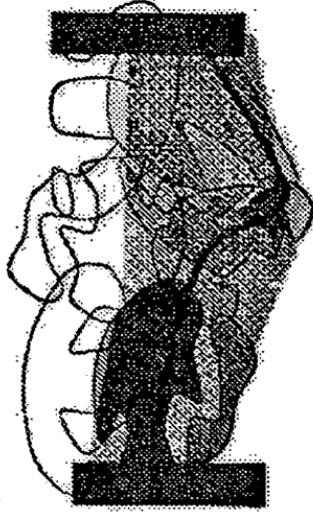


FIGURA 8C

Caso a:
cubre 21 de 26 puestos

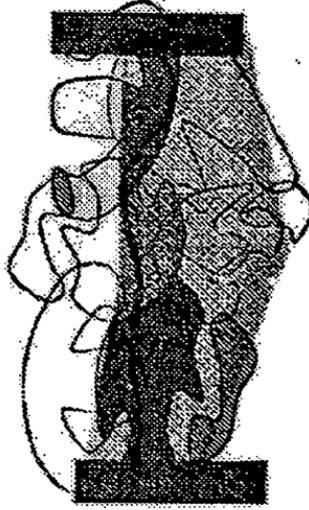


FIGURA 8D

Caso b:
cubre 14 de 28 puestos

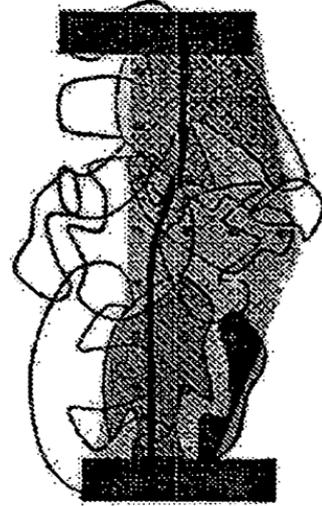


FIGURA 8E

Caso c:
cubre 22 de 26 puestos



Etapa 1: Calcular cuñas

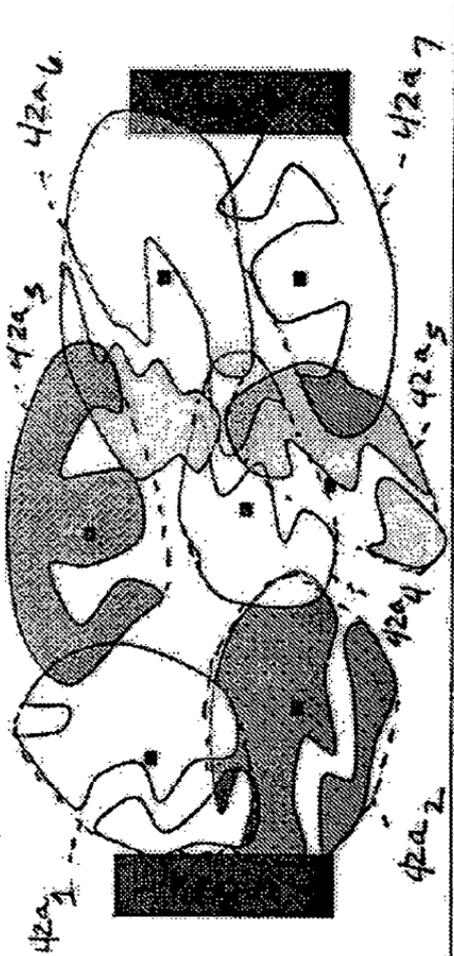


FIGURA 9A

Etapa 2: Construir gráfico de adyacencia de cuñas

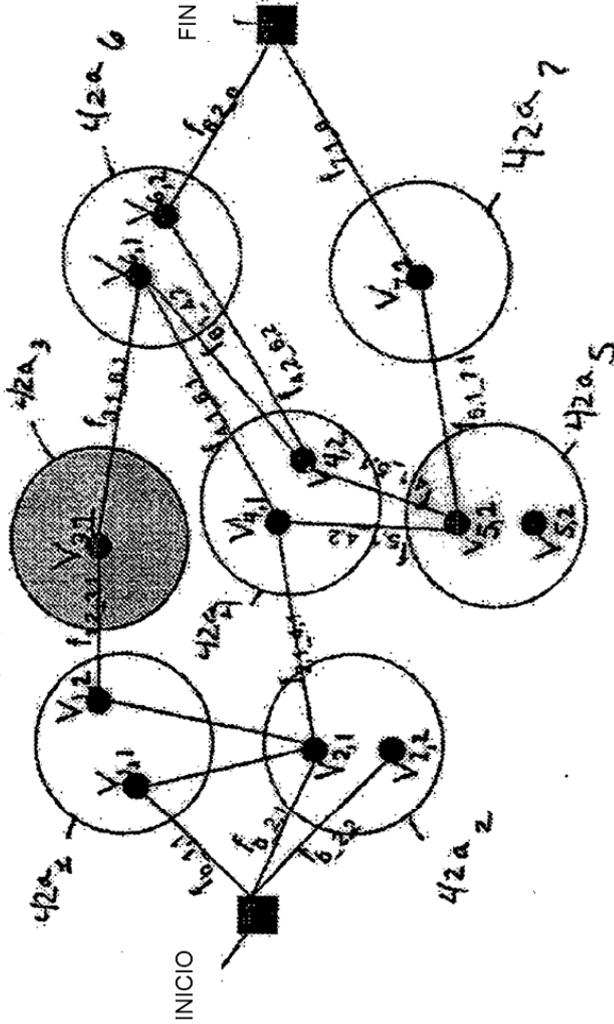


FIGURA 9B

Etapa 3: Resolver Formulación para Minimizar Sensores
Resultado de Etapa 3: Todas las variables son uno, el resto son cero

S2	V2,1	f6_2,1
S4	V4,1	f2,1_4,1
S6	V4,2	f4,1_6,1
	V6,1	f6,1_4,2
	V6,2	f4,2_6,2
		f6,2_0

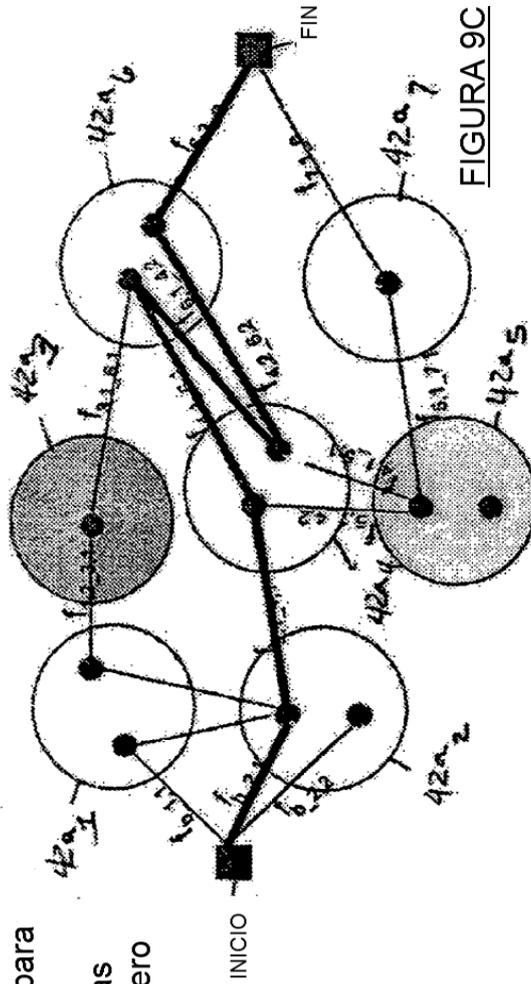


FIGURA 9C

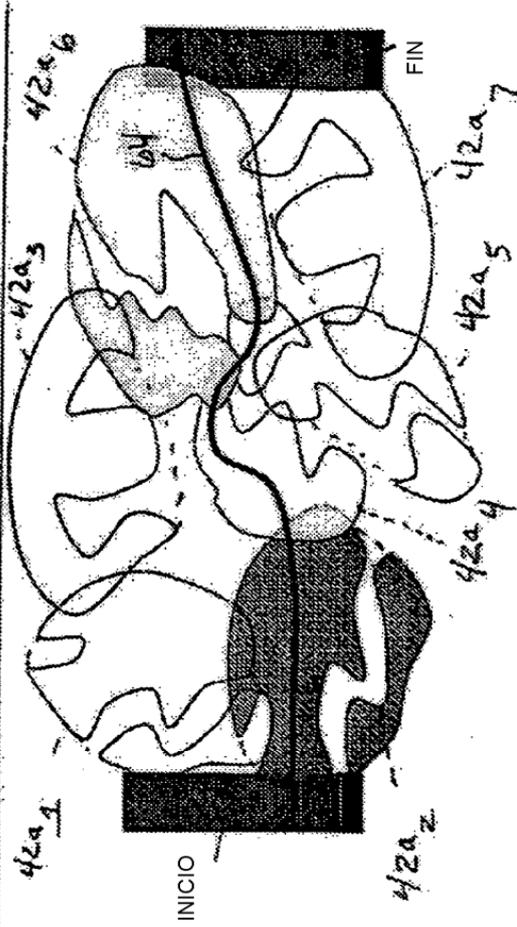


FIGURA 9D

Etapa 4: Dibujar sensores seleccionados, calcular y dibujar cable trampa

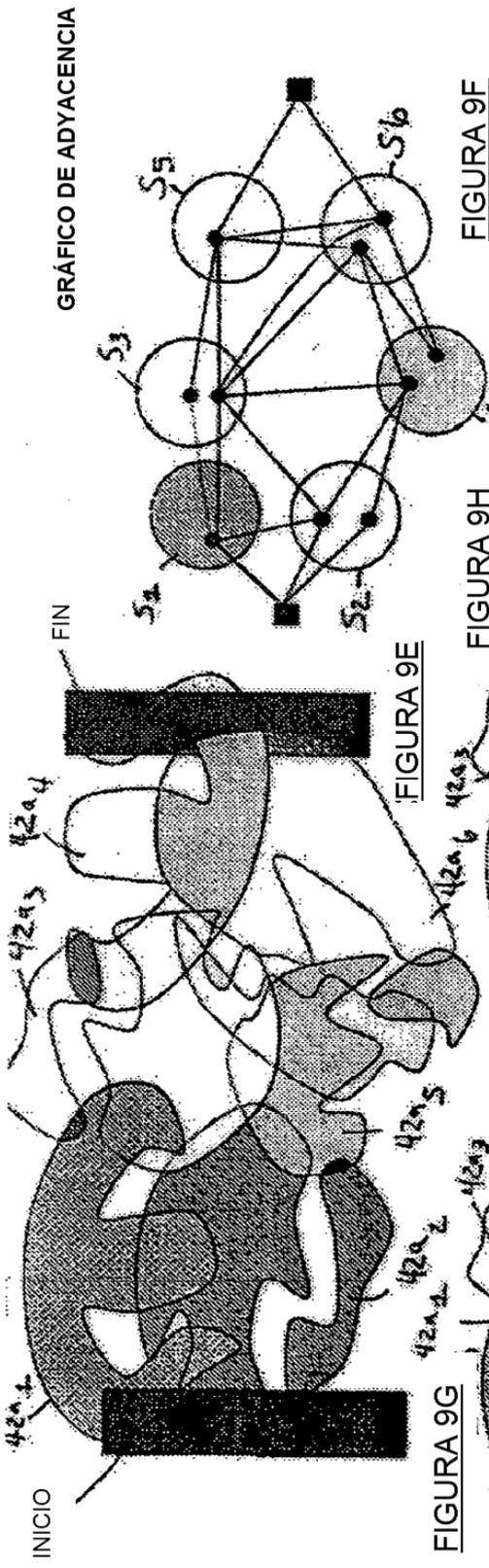
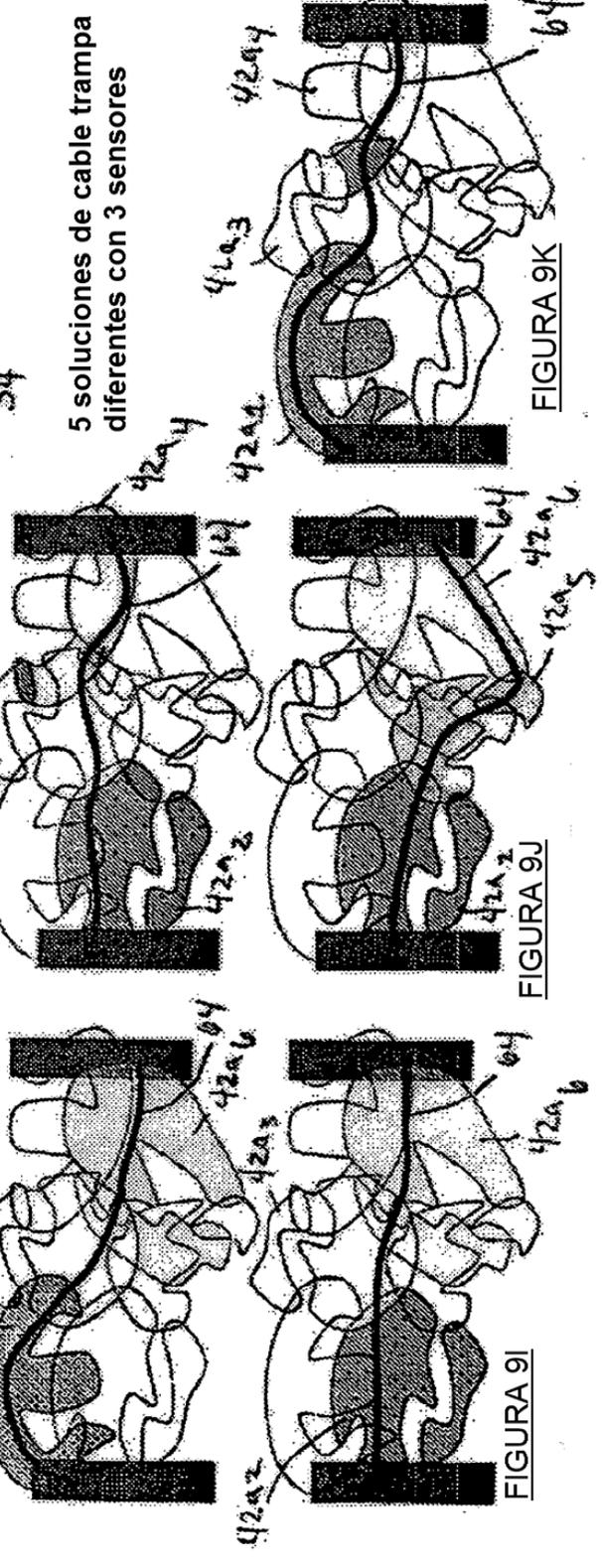


FIGURA 9E

FIGURA 9F

FIGURA 9H

FIGURA 9G

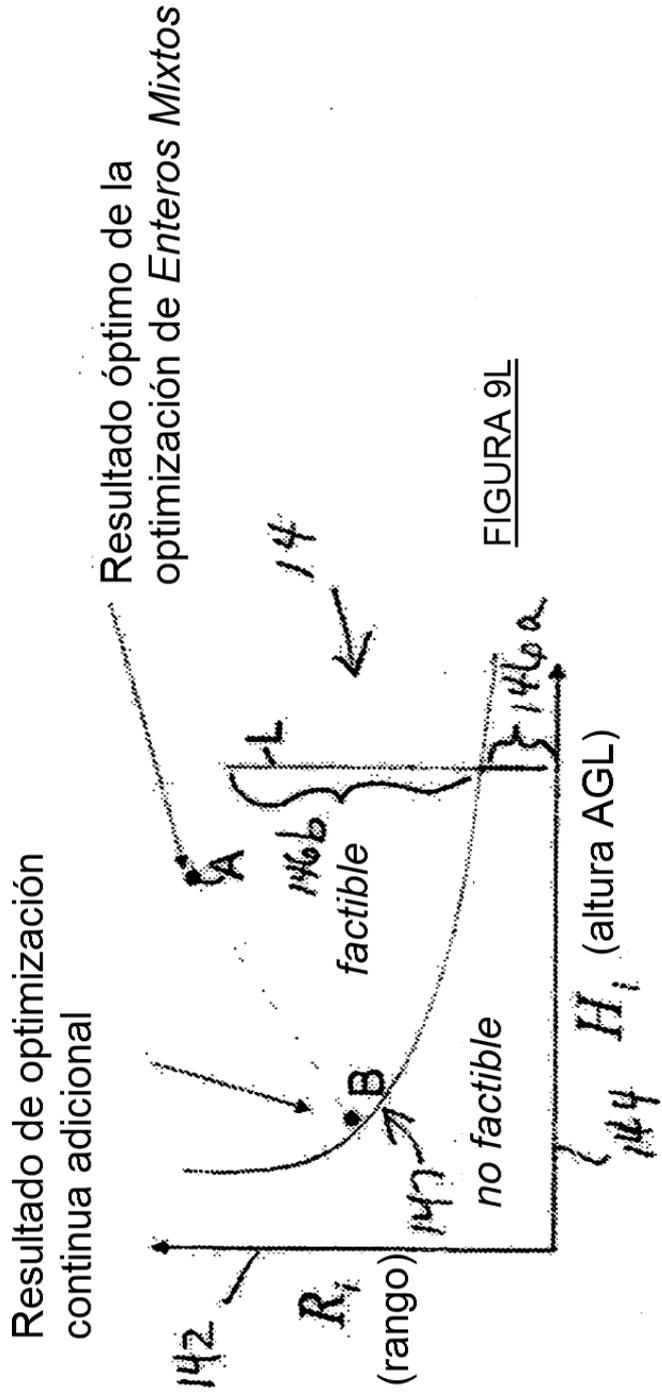


$$\min \sum (C_i R_i + D_i H_i)$$

s.t. cobertura $\geq a$ cobertura (Solución de Enteros Mixto)

$$R_i, H_i \geq 0,0$$

$$R_i, H_i \in \mathbb{R}$$



* Programación Monotónica

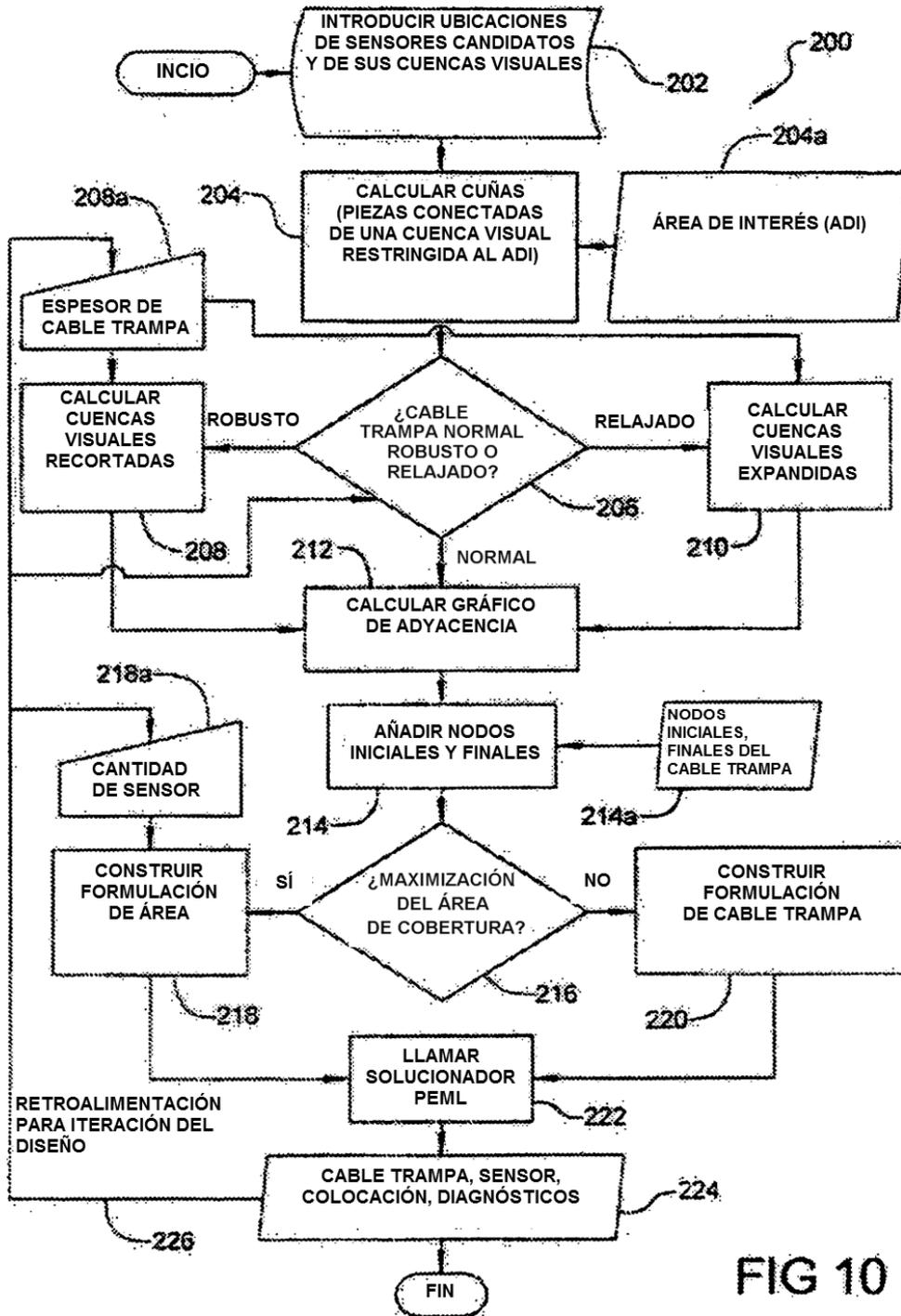


FIG 10