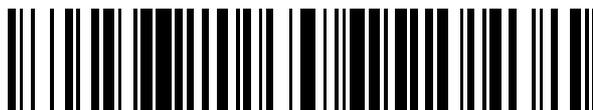


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 880**

51 Int. Cl.:

**F16H 61/4043** (2010.01)

**F16H 61/42** (2010.01)

**B64F 1/22** (2006.01)

**B60S 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2009 E 12153715 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2481673**

54 Título: **Remolcador de avión sin barra de remolque**

30 Prioridad:

**25.11.2008 IL 19550508**

**25.05.2009 IL 19895009**

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

**20.05.2016**

73 Titular/es:

**ISRAEL AEROSPACE INDUSTRIES LTD. (100.0%)**

**Ben Gurion International Airport**

**70100 Lod, IL**

72 Inventor/es:

**PERRY, ARIE y**

**BRAIER, RAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 570 880 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

Remolcador de avión sin barra de remolque

### Campo de la invención

La presente invención hace referencia generalmente a remolcadores de avión sin barra de remolque.

### 5 Antecedentes de la invención

Los remolcadores de avión suelen utilizarse para remolcar aviones entre diferentes ubicaciones en un aeropuerto, evitando así la necesidad de que el avión se mueva con su propio motor, ahorrando combustible de aviación. Los remolcadores pueden proporcionarse con una barra de remolque, que conecta un tren de aterrizaje con el remolcador, o sin barra de remolque, en los que no se proporciona una barra de remolque, en los que, típicamente, el tren de aterrizaje se sitúa directamente sobre el chasis del remolcador.

Los ejemplos de remolcadores de avión pueden encontrarse, por ejemplo, en las siguientes referencias: FR-A-2675919, US-A- 2008/083851, WO-A-2008/038270 y US-A-4113041.

### Resumen de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un remolcador de avión sin barra de remolque configurado para recibir un tren de aterrizaje de un avión y remolcarlo así a una velocidad actual, el remolcador de avión sin barra de remolque comprendiendo:

- un chasis configurado para recibir sobre este al menos una parte de dicho tren de aterrizaje;
- una disposición de propulsión configurada para desplazar el remolcador de avión sin barra de remolque en una dirección a lo largo de una trayectoria;

20 caracterizado porque el remolcador de avión sin barra de remolque comprende además un controlador configurado para:

- comparar entre la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque, al remolcar el avión, y una velocidad predeterminada deseada del mismo;
- detectar el frenado y desaceleración del avión controlados por el piloto;
- 25 - dirigir dicha disposición de propulsión para cambiar la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque para coincidir con la velocidad deseada si la velocidad actual es menor que la velocidad deseada; y
- reducir la velocidad deseada a la velocidad actual y dirigir dicha disposición de propulsión para mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque si:

30 o se detecta al menos uno de un frenado y desaceleración de dicho avión controlados por el piloto; o la velocidad actual es menor que la velocidad deseada; y

la velocidad actual se mantuvo por debajo de la velocidad deseada durante un periodo predefinido que precedió a la comparación debido al frenado y desaceleración detectadas del avión y controladas por el piloto.

El controlador puede configurarse además para dirigir la disposición de propulsión para mantener la velocidad actual si:

- 35 • la velocidad actual es mayor que la velocidad deseada; y
- se detecta al menos uno de un frenado y desaceleración del avión controlados por el piloto.

El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada.

El controlador puede configurarse además para calcular una fuerza de tracción deseada correspondiente a la velocidad deseada.

40 El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador.

El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador y una ubicación de al menos otro remolcador.

45 El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador y una ubicación y una velocidad de al menos otro remolcador que comparte al menos una trayectoria con él.

El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador y un tiempo deseado de llegada del mismo al final de una ubicación de remolque.

El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador, un tiempo estimado de llegada de otro remolcador al final de un punto de remolque, y un tiempo deseado de llegada del remolcador al final de la ubicación de remolque.

5 El remolcador de avión sin barra de remolque puede comprender además un transmisor para transmitir información referente a la velocidad y ubicación del remolcador. Esta información puede transmitirse, por ejemplo, a una cabina de avión, a al menos otro remolcador, o a un centro de mando remoto.

El remolcador de avión sin barra de remolque puede comprender además un receptor configurado para recibir información referente a la velocidad y ubicación de al menos otro remolcador desde un centro de mando remoto.

10 El remolcador de avión sin barra de remolque puede comprender además un detector configurado para detectar una velocidad y una ubicación de al menos otro remolcador utilizando un sensor; configurándose el controlador para calcular la velocidad deseada basándose al menos en la velocidad y ubicación del otro remolcador.

El controlador puede configurarse además para calcular la velocidad deseada basándose en un tiempo deseado de llegada al final de una ubicación de remolque y un tiempo estimado de llegada del otro remolcador al final de un punto de remolque.

15 De acuerdo con un aspecto todavía adicional, se proporciona un procedimiento para controlar un remolcador de avión sin barra de remolque, comprendiendo el procedimiento:

- obtener información relacionada con la velocidad y ubicación de al menos otro remolcador que se espera que comparta al menos una porción de una trayectoria de remolque con el remolcador; y
  - calcular la velocidad deseada del remolcador basándose al menos en la velocidad y ubicación del mismo y la información.
- 20

El procedimiento puede comprender además calcular la velocidad deseada basándose en el tiempo deseado de llegada del remolcador al final de la ubicación de remolque.

El procedimiento puede comprender además calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en un tiempo estimado de llegada del otro remolcador al final de un punto de remolque.

25 El procedimiento puede comprender además transmitir información referente a la velocidad y ubicación del remolcador al otro remolcador.

El procedimiento puede comprender además transmitir información referente a la velocidad y ubicación del remolcador a un centro de mando remoto y recibir allí información referente a la velocidad y ubicación del otro remolcador.

30 El remolcador puede obtener la información referente a la velocidad y ubicación de al menos otro remolcador utilizando un sensor.

De acuerdo con un aspecto todavía adicional de la presente invención, se proporciona un remolcador de avión sin barra de remolque configurado para recibir un tren de aterrizaje de un avión y remolcarlo así, comprendiendo el remolcador:

- un chasis configurado para recibir sobre este al menos una parte del tren de aterrizaje;
- una disposición de propulsión configurada para desplazar el remolcador en una dirección a lo largo de una trayectoria; y
- un controlador configurado para funcionar según lo anterior.

### **Breve descripción de los dibujos**

40 La presente invención se comprenderá y apreciará en su totalidad a partir de la siguiente descripción detallada, en conjunto con los dibujos en los que:

La **Fig. 1A** es una ilustración pictórica de un remolcador de avión sin barra de remolque;

La **Fig. 1B** es una vista de sección transversal del remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la Fig. 1A, tomada a lo largo de las líneas 1B-1B;

45 La **Fig. 1C** es una vista superior del remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la Fig. 1A;

Las **Figs. de la 2A a la 2J** son vistas en perspectiva de varias etapas de las operaciones de pre-retroceso y retroceso del remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la Fig. 1A;

Las **Figs. de la 3A a la 3E** ilustran varias etapas de las operaciones de rodaje del remolcador de avión sin barra de remolque controladas por el piloto ilustrado en la Fig. 1A;

50 Las **Figs. de la 4A a la 4E** ilustran varias etapas de las operaciones autónomas de rodaje del remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la Fig. 1A;

Las **Figs. de la 5A a la 5E** ilustran varias etapas de la operación autónoma de retorno del remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la Fig. 1A;

Las Figs. de la **6A** a la **6C** ilustran en diagramas la funcionalidad de dirección del remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la Fig. 1A;

Las **Figs.** de la **7A** a la **7D** ilustran un sistema de absorción de energía que reacciona con el freno controlado por el piloto del avión con tal de controlar la carga sobre el tren de aterrizaje;

La **Fig. 8A** es un diagrama de bloques de entradas y salidas de un lazo de control de fuerza y de un lazo de control de velocidad que son parte de un controlador del remolcador ilustrado en la Fig. 1;

La **Fig. 8B** es un diagrama de bloques de un lazo de control de fuerza y de un lazo de control de velocidad de Múltiple Entrada/Múltiple Salida (MIMO) que son parte del controlador;

La **Fig.9** ilustra un modelo dinámico de un remolcador sin barra de remolque y del avión y las fuerzas aplicadas sobre este y sobre el remolcador de avión sin barra de remolque ilustrado en la FIG. 1A;

La **Fig. 10** ilustra varios lazos de control;

La **Fig. 11** ilustra un procedimiento para remolcar un avión;

La **Fig. 12** ilustra un remolcador sin barra de remolque y las consecuentes unidades de cabina de avión del dispositivo Electronic Fligh Bag (bolsa de vuelo electrónica) (EFB);

La **Fig. 13** ilustra remolcadores de avión sin barra de remolque con dos cámaras;

La **Fig. 14** ilustra el movimiento de varios remolcadores sin barra de remolque en un aeropuerto;

La **Fig. 15** ilustra un procedimiento para remolcar un avión;

La **Fig. 16** son gráficos de velocidad, un frenado del piloto, fuerza de tracción y número de revoluciones por minuto (RPM) del motor, cada una como una función de tiempo, y de acuerdo con la velocidad deseada y actual de los remolcadores de avión sin barra de remolque; y

La **Fig. 17** ilustra un procedimiento para controlar un remolcador de avión sin barra de remolque;

### Descripción detallada

Se proporciona un sistema de control para un remolcador robótico o semirrobótico para el rodaje de aviones desde una puerta de embarque a una pista de despegue. El remolcador está diseñado para el rodaje del avión sin utilizar el motor a reacción del avión, con tal de ahorrar combustible y minimizar la contaminación. Por lo tanto, el controlador tiene una función dual, específicamente controlando a tiempo real y en cada momento la velocidad para remolcar del remolcador (reemplazando así el motor del avión), y regulando la fuerza de tracción del remolcador (protegiendo así el tren de aterrizaje del avión, p.ej., el morro del tren de aterrizaje, o NLG, sin exceder sus límites de carga estática y de fatiga, y no afectando así a su ciclo de vida. Por consiguiente, se proporciona un concepto de control de múltiple entrada, múltiple salida (MIMO), en el que algunas variables de control y controladas están interconectadas y son dependientes para dirigir la operación del controlador.

La descripción aquí proporcionada hace referencia a remolcadores robóticos o semirrobóticos para el rodaje de aviones desde una puerta de embarque a una pista de despegue sin utilizar los motores a reacción del avión. Los remolcadores pueden funcionar en un avión en el modo de rodaje controlado por el piloto, en el que el piloto del avión dirige y frena como si el avión se moviera por su propia energía, y la velocidad del remolcador se controla con su controlador. Tras completar el rodaje, el remolcador puede volver de manera autónoma a una ubicación pre-retroceso en la puerta de embarque, controlada por un sistema de mando y control del aeropuerto. Un conductor de remolcador puede realizar la operación de retroceso, tras la cual abandona el remolcador y el piloto de avión controla el remolcador durante el rodaje. El remolcador puede funcionar de manera autónoma durante el rodaje del avión. El término "autónomo" se utiliza en su sentido más amplio para incluir el funcionamiento bajo control de un sistema de mando, control y comunicación del aeropuerto, que puede depender del control del piloto del avión.

Se hace ahora referencia a las Figs. 1A, 1B, y 1C, que ilustran un remolcador de avión sin barra de remolque **100**. La publicación internacional WO 2008/139440, cedida al cesionario de la presente solicitud, enseña muchos principios aplicables a la presente publicación. Como se ve en las Figs. 1A, 1B y 1C, el remolcador de avión sin barra de remolque **100** comprende un chasis **102** sujeto sobre seis ruedas, incluyendo las ruedas motrices frontales **104** y **106**, las ruedas motrices posteriores **108** y **110** y las ruedas intermedias no dirigibles **112** y **114**. Se apreciará que las ruedas **112** y **114** también pueden ser alternativamente dirigibles. Los centros de rotación de las ruedas motrices **104**, **106**, **108** y **110**, respectivamente indicadas con los números de referencia **115**, **116**, **117** y **118**, pueden definir vértices de un rectángulo, cuya longitud A está definida por la separación entre los centros de rotación de las respectivas ruedas frontales y posteriores en el mismo lado del remolcador **100**, y cuya anchura B está definida por la separación entre los centros de rotación **115** y **116** de las respectivas ruedas frontales **104** y **106** y entre los centros de rotación **117** y **118** de las respectivas ruedas posteriores **108** y **110**.

Cada una de las ruedas **104**, **106**, **108**, **110**, **112** y **114** puede accionarse de manera controlada por un motor hidráulico correspondiente (no mostrado) alimentado por una bomba hidráulica correspondiente (no mostrada) accionada por un motor diesel de vehículo (no mostrado) en respuesta a las señales de control de velocidad y de torsión de un controlador **119**. Cada una de las ruedas motrices **104**, **106**, **108**, y **110** puede ser dirigibles por uno o más pistones de dirección (no mostrados) en respuesta a las señales de control de dirección del controlador **119**. Las ruedas, la bomba hidráulica y el motor diesel constituyen partes de una disposición de propulsión que está configurada para mover el remolque en una dirección a lo largo de una trayectoria.

Un ensamblaje de interfaz de control para el conductor, que puede incluir una rueda dirigitiva **120**, frenos (no mostrados), y opcionalmente otros controles que sean necesarios, puede interactuar con el controlador **119** para

5 permitir a un conductor controlar la operación del remolcador de avión sin barra de remolque **100** antes y durante el retroceso, y/o en caso de una emergencia o un error del sistema de control del remolcador. El remolcador de avión sin barra de remolque **100** puede funcionar en el modo "avión controlado por piloto" (PIC), mediante un controlador **119** para el rodaje hacia o cerca del punto de despegue. Cerca del punto de despegue, el controlador **119** automática o manualmente (gracias al conductor de seguridad) desconecta el remolcador **100** del avión, en respuesta a una orden recibida desde el Centro de Mando y Control del aeropuerto o desde un sensor de ubicación del remolcador **121**, como un sensor GPS o cualquier otro sensor de ubicación de remolcador adecuado, y el remolcador **100** funciona bajo el control del controlador **119**, para volver con un conductor de seguridad desde un punto de despegue a la localización de pre-retroceso deseada. El remolcador **100** también puede estar equipado con un sensor de viento **122**, uno o más sensores detectores de obstáculos **123**, como un radar y/o sensores láser, por ejemplo los comercializados con el nombre *HDL-64E* por Velodyne®, con salida hacia el controlador **119**, y una o más cámaras de conducción **124**, que permiten una conducción a distancia del remolcador **100**, así como mediante un centro de mando y control a distancia. Las cámaras de conducción **124** pueden ser giratorias para tener un movimiento horizontal y vertical con tal de permitir a un operador ver varias localizaciones sobre o cerca del remolcador **100**.

Un montaje de soporte **125** de rueda de tren de aterrizaje giratorio de avión está montado de manera giratoria y rotatoria sobre un montaje de base horizontal **126**. El centro de rotación del montaje de soporte **125** en estado estable, designado con la referencia numérica **127**, puede encontrarse en el centro geométrico del rectángulo definido por los centros de rotación **115**, **116**, **117** y **118** de las ruedas dirigibles respectivas **104**, **106**, **108** y **110**.

20 El montaje de base horizontal **126** está conectado al chasis **102** de manera que permite una cantidad limitada de libertad de movimiento de este en relación con el chasis, y se conecta con un montaje de absorción de energía que puede comprender una pluralidad de pistones de absorción de energía **128**, cada uno de los cuales está unido de manera giratoria al chasis **102** y al montaje de base horizontal **126**. Los sensores de fuerza **129**, que pueden ser celdas de carga, pueden estar asociados con cada pistón de absorción de energía **128**, que salen hacia el controlador **119**, y se utilizan así para controlar la aceleración y desaceleración de un vehículo.

30 El montaje de base horizontal **126** puede comprender un elemento base circunferencial **130**, que está montado de manera giratoria sobre el chasis **102** estando suspendido desde una varilla de soporte que se extiende de manera transversal **131** sobre un par de soportes frontales colgantes **132**, y suspendidos sobre un par de soportes posteriores colgantes **132** que están montados de manera giratoria sobre el chasis **102**. Los soportes colgantes **132** están unidos con pistones de absorción de energía **128** montados de manera giratoria. El montaje del elemento base circunferencial **130** sobre los soportes colgantes **132** puede realizarse sobre ejes giratorios **133** que pueden estar formados íntegramente o no con un elemento de base circunferencial **130**.

35 El montaje de soporte **125** puede estar montado de manera giratoria y rotatoria sobre una base **126** mediante un par de varillas giratorias **134** que se extienden hacia fuera desde este hasta unirse con soportes de capacidad de alta carga **135**, que a su vez, conectan con un rodamiento circunferencial de 360° **136** formado en la base **126**. Esta disposición proporciona tanto una rotación de fricción relativamente baja como una inclinación del montaje de soporte **125** relativa al elemento base **130**, el montaje de base horizontal **126**, y el chasis **102**.

40 Una estructura vertical **140** está montada fijamente sobre el montaje de soporte **125** para alinear la rueda del tren de aterrizaje del avión en el montaje de soporte. Un listón de tope de la rueda del tren de aterrizaje **142** puede estar situado de manera selectiva con respecto a una estructura vertical **140** con un pistón situado como listón de tope **144**, anclado sobre el montaje de soporte **125**, para adaptar el montaje de soporte a diferentes tamaños de las ruedas del tren de aterrizaje del avión. La orientación giratoria del montaje de soporte **125** puede detectarse con un sensor de rotación **145**, como un potenciómetro, que proporciona una entrada de la orientación giratoria del montaje de soporte al controlador **119**. La orientación rotacional del montaje de soporte **125** puede estar controlada por un motor de rotación del montaje de soporte **146**.

50 Un conjunto de fijación selectivamente posicionable **147** puede estar montado sobre el montaje de soporte **125** y conectado a una estructura vertical **140**. El conjunto de fijación **147** funciona para sujetar de manera selectiva las ruedas del tren de aterrizaje del avión sobre el montaje de soporte **125** para que el centro de rotación de las ruedas del tren de aterrizaje del avión se sitúe, en la medida de lo posible, exactamente en el centro de rotación **127** del montaje de soporte que, como se explica arriba, se sitúa sobre el centro geométrico del rectángulo definido por los centros de rotación de las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110**.

55 Los sensores de fuerza **148** como las celdas de carga, se montan sobre una superficie mirando hacia el conjunto de fijación **147** y sobre una superficie posterior mirando hacia el listón de tope **142** para unir las ruedas del tren de aterrizaje del avión para detectar las fuerzas en el plano horizontal que se aplican a las ruedas del tren de aterrizaje del avión y por lo tanto al tren de aterrizaje del avión, como por ejemplo las debidas a las diferencias en aceleración, desaceleración, y/o velocidad del remolcador **100** relativas por lo tanto a la aceleración, desaceleración y/o velocidad del avión siendo remolcado.

Una rampa de rueda inclinada del tren de aterrizaje **150** puede montarse sobre el elemento base **130**. Un par de conjuntos de pistón que unen la rueda del tren de aterrizaje **152** pueden proporcionarse para empujar y levantar el

tren de aterrizaje del avión y situar las ruedas del tren de aterrizaje del avión sobre el montaje de soporte **125**.

Los sensores de fuerza **148** pueden utilizarse para detectar las fuerzas aplicadas sobre el tren de aterrizaje en al menos una dirección generalmente horizontal a lo largo de la trayectoria del movimiento del remolcador. Esta fuerza puede ser el resultado del freno del avión de un avión controlado por piloto, que produce una desaceleración del remolcador, o una aceleración del mismo. El controlador **119** funciona al menos parcialmente como respuesta a una salida del sensor de fuerza indicando, entre otros, un freno de avión controlado por el piloto, resultando en la desaceleración del avión para suministrar señales de control de velocidad y de torsión a los motores hidráulicos que dirigen las ruedas del remolque **100**. El control es para reducir y limitar la fuerza aplicada al tren de aterrizaje del avión a una fuerza máxima permitida que no dañe el tren de aterrizaje del avión como resultado de un frenado del avión controlado por un piloto resultando en una desaceleración y/o aceleración del remolcador.

El sensor giratorio **145** puede utilizarse para detectar la rotación del montaje de soporte **125** relativa al montaje de base **126**, producido por la dirección del piloto de avión mediante el tren de aterrizaje del avión, y el controlador **119** se utiliza para controlar la dirección de las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110** basándose en la salida del sensor de rotación **145** y por lo tanto en respuesta a las órdenes de dirección del piloto de avión.

Los sensores de fuerza **129** y **148** pueden utilizarse para detectar las fuerzas aplicadas sobre el tren de aterrizaje en al menos una dirección generalmente horizontal con tal de que el controlador **119** se utilice para controlar la aceleración y desaceleración del remolcador empleando al menos un lazo de realimentación de potencia utilizando una salida de al menos un sensor de fuerza, detectando el frenado controlado por el piloto y al menos una de las siguientes entradas:

- una indicación de fuerza inducida por inclinaciones conocidas en varias ubicaciones a lo largo de la superficie de trayectoria del avión atravesada por el remolcador **100**, estando las ubicaciones identificadas por el controlador gracias a la funcionalidad de detección de ubicación;
- una indicación de fuerzas de viento aplicadas sobre el avión, suministrando la información sobre las fuerzas del viento al controlador desde el aeropuerto y/o los sensores de viento estando montados sobre el remolcador; y
- una indicación de un remolcador conocido y unas fuerzas de fricción de rodaje de avión en varias ubicaciones a lo largo de la superficie de trayectoria del avión atravesada por el remolcador, las ubicaciones estando identificadas por el controlador mediante la funcionalidad de detección de ubicación.

El controlador **119** también puede utilizarse para controlar la velocidad del remolcador **100** utilizando al menos un lazo de realimentación de velocidad basado en límites de velocidad conocidos a lo largo de una trayectoria atravesada por el remolcador y el avión, por ejemplo utilizando un mapa de aeropuerto adecuado integrado en el controlador **119**, y una salida de un sensor de ubicación del remolcador, indicando la posición del remolcador **100** a lo largo de la trayectoria del remolcador **100** y del avión.

Un único telémetro láser **154** o un par de ellos puede montarse sobre el chasis **102** del remolcador **100** para determinar la relación angular entre el eje longitudinal del avión y el eje longitudinal del remolcador **100**. La relación angular entre el eje longitudinal del avión y el eje longitudinal del remolcador **100** puede emplearse en un modo de rodaje autónomo de la operación como se describe aquí abajo en las figuras de la 4A a la 4E.

Como se ve en la Fig. 2A, el remolcador **100** se desplaza, bajo el control de un conductor de remolcador, en una dirección indicada por una flecha **200**, hacia un avión **202** que espera el retroceso. La Fig. 2B ilustra las ruedas del tren de aterrizaje **204** situadas en la rampa **150**. La Fig. 2C ilustra una rueda del tren de aterrizaje uniendo los conjuntos de pistón **152** situados en unión con las ruedas del tren de aterrizaje **204** para empujar y elevar el tren de aterrizaje del avión y situando las ruedas del tren de aterrizaje del avión sobre el montaje de soporte **125**. La Fig. 2D ilustra un posicionamiento adecuado del listón de tope de la rueda del tren de aterrizaje del avión **142** con respecto a una estructura vertical **140** mediante el posicionamiento de un pistón situado como un listón de tope **144** para acomodar las ruedas del tren de aterrizaje específicas **204** del avión específico **202**. La Fig. 2E ilustra las ruedas del tren de aterrizaje **204** estando empujadas hacia el montaje de soporte **125**.

La Fig. 2F ilustra las ruedas del tren de aterrizaje del avión **204** empujadas por conjuntos de pistón **152** contra el listón de tope **142** situado de manera adecuada, para que el eje de rotación de las ruedas del tren de aterrizaje del avión **204** puedan situarse lo más cerca posible exactamente del centro de rotación **127** del montaje de soporte **125**, que, como se ha mencionado arriba, permanece sobre o cerca del centro geométrico del rectángulo definido por los centros de rotación de las ruedas giratorias **104**, **106**, **108** y **110**.

Las Figs. 2G y 2H ilustran una secuencia de retracción de conjuntos individuales de pistón **152** lejos de la unión con las ruedas del tren de aterrizaje del avión **204** y la unión de las sujeciones individuales del montaje de soporte de sujeción **147** con las ruedas del tren de aterrizaje del avión **204** para sujetar las ruedas del tren de aterrizaje del avión al montaje de soporte **125** para que el centro de rotación de las ruedas del tren de aterrizaje del avión se sitúe lo más cerca posible exactamente al centro de rotación **127** del montaje de soporte **125**. La Fig. 2I ilustra un retroceso del avión **202** mediante el remolcador **100** bajo el control del conductor del remolcador. La Fig. 2J ilustra al conductor del remolcador abandonando el remolcador **100** tras completar el retroceso. El conductor puede permanecer en el remolcador **100** durante todo o parte del rodaje, y puede participar en la desconexión del

remolcador y el avión, seguida por la activación del motor.

La Fig. 3A ilustra la rotación de las ruedas del tren de aterrizaje de un avión **204** al usar el piloto del avión una palanca convencional de dirección de avión **206** o pedales (no mostrados), produciendo una rotación correspondiente del montaje de soporte **125** en relación con el elemento base **130**. La rotación del montaje de soporte **125** se detecta inmediatamente mediante el sensor de rotación **145** que proporciona una salida al controlador **119** resultando en la inmediata rotación de las ruedas dirigibles **104, 106, 108 y 110** del remolcador **100**, como se describe de aquí en adelante con más detalles y referencias a las Figs. de la 6A a la 6B.

El controlador **119** puede dirigir el remolcador **100** de acuerdo con un lazo de control de realimentación que recibe una entrada desde el sensor de rotación **145** indicando un ángulo  $\alpha$  entre la dirección de las ruedas **204** del tren de aterrizaje dirigido por el piloto de avión, y por lo tanto del montaje de soporte **125**, con el eje longitudinal del remolque **100**, aquí señalado con el número de referencia **210**. El controlador **119** dirige las ruedas dirigibles **104, 106, 108 y 110** del remolcador en los ángulos respectivos  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  y  $\beta_4$ , como se describe de aquí en adelante con referencia a las Figs. de la 6A a la 6C, y dirige el remolcador **100** para que el ángulo  $\alpha$  llegue a cero.

La Fig. 3B ilustra un paso intermedio durante el movimiento del remolcador **100** durante el que se orienta para tirar del avión **202** en la dirección indicada por el piloto del avión. En este paso el ángulo  $\alpha$  entre el montaje de soporte **125** y el eje longitudinal **210** del remolque **100** se muestra como una mitad de lo mostrado en la Fig. 3A. Un ángulo  $\gamma$  se indica entre el eje longitudinal **210** del remolcador **100** y el eje longitudinal del avión **202** estando inclinado así, indicado aquí con la referencia numérica **220**, debido al giro del remolcador **100** en relación con el avión **202**.

La Fig. 3C ilustra el remolcador **100** orientado con respecto a las ruedas **204** del tren de aterrizaje del avión **202** para que  $\alpha$  sea cero. Debe tenerse en cuenta que los ángulos  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  y  $\beta_4$  de las ruedas dirigibles **104, 106, 108 y 110** del remolcador, respectivamente, no son cero normalmente. En este paso el ángulo  $\gamma$  entre el eje longitudinal **210** del remolcador **100** y el eje longitudinal **220** del avión **202** estando inclinado por el remolcador **100** es menor que  $\gamma$  en la Fig. 3B ya que el avión **202** ha empezado a girar.

La Fig. 3D ilustra un frenado del avión **202**, al presionar los pedales **222** el piloto del avión. El frenado del avión **202** se realiza con los frenos del tren de aterrizaje principal (no mostrado) del avión **202**, provocando que el avión desacelere y aplicando así inmediatamente una fuerza detectada por los sensores de fuerza **148** sobre las sujeciones **147**, la salida de las cuales la recibe el controlador **119**, que inmediatamente desacelera el remolcador **100**. Ya que existe una demora entre un frenado del avión **202** y la correspondiente desaceleración del remolcador **100**, las fuerzas se aplican a los pistones posteriores de absorción de energía **128** que se detectan inmediatamente mediante sensores de fuerza **129**. Los pistones posteriores de absorción de energía **128** absorben la energía producida al frenar el avión **202** en relación con el remolque **100**. En este paso los sensores de fuerza **129** sirven como refuerzo para los sensores de fuerza **148**.

La Fig. 3E ilustra una aceleración controlada del remolcador **100** dirigida por el controlador **119** en respuesta, entre otros, a las entradas recibidas desde los sensores de fuerza **148 y 129**, para proporcionar una velocidad de rodaje del avión que se encuentra dentro de unos límites predeterminados de velocidad en ubicaciones predeterminadas a lo largo de una trayectoria del avión y para asegurarse de que las fuerzas aplicadas sobre el tren de aterrizaje no exceden los límites predeterminados, teniendo en cuenta uno o más de los siguientes factores:

- fuerza inducida por inclinaciones conocidas en varias ubicaciones a lo largo de la superficie de trayectoria del avión atravesada por el remolcador **100**, las ubicaciones siendo identificadas por el controlador **119** mediante la funcionalidad de detección de ubicación, como una funcionalidad de GPS, facilitada aquí por el sensor de ubicación **121** del remolcador montado sobre el remolcador;
- las fuerzas de viento aplicadas al avión **202**, la información relacionada con las fuerzas de viento suministradas al controlador **119** desde el aeropuerto o los sensores de viento montados sobre el remolcador, como el sensor de viento **122** montado sobre el remolcador, y opcionalmente también a través de la funcionalidad de control y mando del aeropuerto; y
- las fuerzas de fricción del avión **202** y del remolcador **100** en varias ubicaciones a lo largo de la superficie de la trayectoria del avión atravesada por el remolcador **100**, siendo identificadas las ubicaciones para el controlador **119** mediante la funcionalidad de detección proporcionada por el sensor de ubicación **121** del remolcador, y opcionalmente también mediante la funcionalidad de control y mando del aeropuerto.

El controlador **119** también puede desacelerar el remolcador **100** que responde no solo al frenado del piloto del avión **202**, sino también a la detección de un obstáculo detectado por un sensor de obstáculos **123**. La desaceleración del remolcador se dirige por el controlador **119** en respuesta, entre otros, a las entradas recibidas desde los sensores de fuerza **148 y 129**, para asegurarse un radio de desaceleración coordinado entre el avión y el remolcador, para limitar así las fuerzas aplicadas al tren de aterrizaje del avión **202** dentro de límites de fuerza predeterminados.

Con tal de distinguir entre las fuerzas de tracción normales sobre el tren de aterrizaje y las fuerzas aplicadas por el frenado del piloto, el controlador **119** puede tener en cuenta uno o más factores arriba descritos, que se indican mediante datos de diversos sensores, como los sensores **120, 121, 122 y 123** y las cámaras **124**.

El controlador **119** puede utilizarse para dirigir la aceleración y desaceleración del remolcador **100** para mantener una velocidad deseada del remolcador utilizando un lazo de realimentación de control de la velocidad. El controlador **119** puede proporcionarse con, o puede tener acceso a, un mapa integrado del aeropuerto que indica límites relevantes de velocidad del remolcador en varias regiones de la trayectoria del remolcador. Esta información del límite de velocidad está coordinada con la información que indica la ubicación instantánea del remolcador **100**, que puede facilitarse mediante el sensor de ubicación **121** del remolcador. El controlador **119** también puede incluir un sistema de navegación que indica la velocidad instantánea del remolcador **100**. El lazo de realimentación funciona para provocar que la velocidad actual se acerque tanto como sea posible a y que no exceda el límite de velocidad para la ubicación instantánea del remolcador **100**.

El controlador **119** también puede utilizarse para controlar la aceleración y desaceleración del remolcador **100** para limitar las fuerzas horizontales aplicadas sobre el tren de aterrizaje del avión **202** hasta un límite aceptable, por ejemplo el 4 % del peso bruto del avión, por ejemplo empleando un lazo de realimentación de control de fuerza. El controlador **119** recibe entradas de los sensores de fuerza **148** y **129**, que indican la suma de las fuerzas aplicadas al tren de aterrizaje del avión **202**, resultado de, entre otros, el viento, las pendientes, la fricción de rodamiento, y la aceleración o desaceleración del avión **202** y/o del remolcador **100**. El lazo de realimentación de fuerza funciona para acelerar o desacelerar el remolcador **100** para mantener las fuerzas detectadas por los sensores de fuerza **148** y **129** por debajo del límite aceptable, opcionalmente dejando un margen para aceleraciones o desaceleraciones inesperadas ya sea del avión **202** o del remolcador **100**.

Se hace ahora referencia a las Figs. 4A, 4B, 4C, 4D y 4E, que ilustran varias etapas de las operaciones autónomas de rodaje del remolcador de avión sin barra de remolque **100**. La operación del rodaje autónomo puede iniciarla el conductor del remolcador **100** o iniciarse automáticamente en respuesta a una orden desde el centro de mando y control del aeropuerto tras completar el retroceso.

En la operación de rodaje autónomo, una función del montaje de soporte **125** es reducir las fuerzas aplicadas al tren de aterrizaje en el avión horizontal, específicamente de torsión, a cero, manteniendo la posición de las ruedas del tren de aterrizaje **204** en la última posición seleccionada por el piloto del avión, típicamente paralela al eje longitudinal **220** del avión. Como resultado, el tren de aterrizaje permanece en esa posición mientras que el remolcador **100** cambia su dirección a lo largo de su trayectoria. Esto significa que en la mayoría de las maniobras de giro del remolcador **100** el montaje de soporte girará en una dirección opuesta a la del remolcador **100**.

El control autónomo del remolcador puede sustituirse inmediatamente por el piloto del avión al utilizar los frenos del avión sobre el tren de aterrizaje principal, que se detecta inmediatamente por los sensores de fuerza **148** y **129**.

El rodaje autónomo puede emplear una funcionalidad mejorada de las cuatro C (del inglés *Command, Control, Communications and Computers*; en español mando, control, comunicación y ordenadores) de un centro de control y mando del aeropuerto que coordina y optimiza la trayectoria del rodaje y la velocidad de todos los rodajes de avión en el aeropuerto, por ejemplo utilizando algunas o todas las siguientes entradas:

- Posiciones de todos los rodajes de aviones en el aeropuerto;
- Cálculo de todos los espacios de rodaje de los aviones y de las trayectorias de rodaje; y
- Condiciones meteorológicas del aeródromo y condiciones de rodaje del recorrido por tierra.

Esta funcionalidad mejorada de las cuatro C puede proporcionar algunas o todas las siguientes funciones:

- evasión de las incursiones en pista;
- cálculo óptimo de las velocidades de rodaje para asegurar mínimos inicios y paradas de todos los aviones durante el rodaje;
- minimizar los atascos en las pistas; y
- permitir un inmediato control del piloto en caso de error o emergencia.

La Fig. 4A ilustra una orientación inicial del remolcador **100** y del avión **202** al principio de una operación autónoma de rodaje. Las ruedas del tren de aterrizaje del avión **204** se sitúan paralelas al eje longitudinal **210** del remolcador **100** y al eje longitudinal **220** del avión. Las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110** del remolcador **100** también se sitúan paralelas a los ejes **210** y **220**.

La Fig. 4B ilustra un giro inicial del remolcador **100** bajo el control del controlador **119**, por ejemplo como respuesta a las instrucciones de control recibidas desde un sistema de control y mando del aeropuerto **250** basado en el sistema de las cuatro C. Como puede verse en la Fig. 4B, el piloto del avión no utiliza una palanca convencional de dirección de avión **206** o pedales (no mostrados) excepto para el freno de emergencia. La dirección deseada del remolcador **100** se produce como respuesta a instrucciones adecuadas desde el controlador **119** mediante la rotación de las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110** del remolcador **100**. Con tal de evitar la aplicación de torsión sobre el tren de aterrizaje del avión **202**, el montaje de soporte **125** se gira mediante el motor de rotación del montaje de soporte **146** en un ángulo  $-\alpha$ , que es igual a la magnitud y opuesto a la dirección del ángulo  $\alpha$  entre el eje longitudinal **210** del remolcador y del eje longitudinal **220** del avión. La rotación del montaje de soporte **125** se detecta con un sensor de rotación **145** que proporciona una salida de realimentación al controlador **119**.

El controlador **119** puede girar el remolcador **100** mediante el giro de las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110** y girar el montaje de soporte **125** mediante el motor de rotación del montaje de soporte **146** de acuerdo con dos lazos de control de realimentación. Un lazo de realimentación de control asegura que la dirección del remolcador **100** siga una trayectoria predeterminada establecida por el sistema de control y mando del aeropuerto **250**. El segundo lazo de realimentación emplea telémetros láser **154** para asegurarse de que las ruedas del tren de aterrizaje **204** están alineadas paralelas al eje longitudinal **220** del avión. Los telémetros láser **154** aseguran el ángulo  $\alpha$  entre el eje longitudinal **210** del remolcador **100** y el eje longitudinal **220** del avión **202**. El controlador **119** se asegura de que el montaje de soporte **125** gira relativo al eje longitudinal **210** con un ángulo  $-\alpha$ , para asegurarse de que las ruedas del tren de aterrizaje **204** permanecen alineadas con el eje longitudinal **220** del avión en todo momento.

La Fig. 4C ilustra un paso adicional de rotación del remolcador **100**. En este paso el ángulo  $\alpha$  entre el eje longitudinal **210** del remolcador **100** y el eje longitudinal **220** del avión **202** y el ángulo  $-\alpha$  entre el montaje de soporte **125** y el eje longitudinal **210** del remolcador **100** se muestran como el doble de los ángulos mostrados en la Fig. 4B.

La Fig. 4D ilustra una sustitución del modo de funcionamiento autónomo por el piloto del avión, por ejemplo con el piloto de avión presionando los pedales de freno **222**. Esta sustitución puede ser, p.ej., para un frenado de emergencia y/o para permitir al piloto del avión controlar la dirección del remolcador **100** como se describe arriba con referencia a las Figs. de la 3A a la 3E. El frenado del avión **202** se realiza mediante los frenos del tren de aterrizaje principal (no mostrado) del avión **202**, provocando que el avión desacelere y aplicando así inmediatamente una fuerza detectada por los sensores de fuerza **148** sobre las fijaciones **147**, la salida de las cuales se recibe por el controlador **119**, que inmediatamente desacelera el remolcador **100**.

El controlador **119** termina el modo de operación de realimentación del remolque **100** y transfiere el modo de remolcador a la operación de control por piloto de avión, como se describe arriba con referencia a las Figs. de la 3A a la 3E.

Ya que existe una demora entre el frenado del avión **202** y la correspondiente desaceleración del remolcador **100**, las fuerzas se aplican a los pistones posteriores de absorción de energía **128** detectadas inmediatamente mediante los sensores de fuerza **129**. Los pistones posteriores de absorción de energía **128** absorben la energía producida al frenar el avión **202** en relación con el remolcador **100**. En este paso, los sensores de fuerza **129** sirven como refuerzo a los sensores de fuerza **148**.

La vuelta al funcionamiento de modo autónomo típicamente requiere una entrada desde el sistema de control y mando del aeropuerto **250** o una orden de piloto transmitida a través del dispositivo EFB, como el distribuido por *Astronautics Ltd.* de Israel.

La Fig. 4E ilustra una aceleración controlada del remolcador **100** en el funcionamiento de modo autónomo, dirigida por el controlador **119** en respuesta, entre otros, a las entradas recibidas desde el centro de control y mando **250** y desde los sensores de fuerza **148** y **129**, para proporcionar una velocidad de rodaje del avión dentro de los límites predeterminados de velocidad en las ubicaciones predeterminadas a lo largo de la trayectoria del avión, y para asegurar que las fuerzas aplicadas al tren de aterrizaje no exceden los límites predeterminados, teniendo en cuenta uno o más de los factores siguientes:

- la fuerza inducida por las inclinaciones en varias ubicaciones a lo largo de la superficie de trayectoria del avión atravesada por el remolcador **100**, las ubicaciones siendo identificadas por el controlador **119** por la funcionalidad de detección de ubicación, como una funcionalidad de GPS, facilitada aquí por el sensor de ubicación **121** del remolcador montado sobre el remolcador;
- las fuerzas de viento aplicadas al avión **202**, la información relacionada con las fuerzas del viento suministrada al controlador **119** desde los sensores de viento del aeropuerto o los montados sobre el remolcador, como el sensor de viento **122** montado sobre el remolcador, y a través de la funcionalidad de control y mando del aeropuerto; y
- las fuerzas de fricción de rodadura del avión en varias ubicaciones a lo largo de la superficie de trayectoria del avión atravesada por el remolcador **100**, las ubicaciones estando identificadas por el controlador **119** mediante la funcionalidad de detección de ubicación proporcionada por el sensor de ubicación **121** del remolcador y a través de la funcionalidad de control y mando del aeropuerto.

El controlador **119** puede desacelerar el remolcador **100** en respuesta no solo al frenado del piloto del avión **202**, sino también a la detección de un obstáculo detectado por un sensor de obstáculos **123** o una de las cámaras de dirección **124** o las instrucciones de control recibidas desde el centro de control y mando del aeropuerto **250**. La desaceleración del remolcador se dirige con el controlador **119** en respuesta, entre otros, a las entradas recibidas desde los sensores de fuerzas **148** y **129** para asegurar un radio de desaceleración coordinado entre el avión y el remolcador, para limitar así las fuerzas aplicadas sobre el tren de aterrizaje del avión **202** dentro de límites de fuerza predeterminados.

Con tal de distinguir entre las fuerzas de tracción normales en el tren de aterrizaje y las fuerzas aplicadas por el frenado del piloto, el controlador **119** toma en cuenta uno o más de los factores arriba descritos, que se indican con datos desde varios sensores, como los sensores **120**, **121**, **122**, y **123**.

- El controlador **119** puede utilizarse para dirigir la aceleración y desaceleración del remolcador **100** para mantener una velocidad deseada del remolcador utilizando un lazo de realimentación de control de la velocidad. El controlador **119** puede facilitarse con, o puede tener acceso a, un mapa integrado del aeropuerto indicando límites de velocidad del remolcador relevantes en varias regiones de la trayectoria del remolcador. Esta información sobre el límite de velocidad está coordinada con la información que indica la ubicación instantánea del remolcador **100**, que puede facilitarse mediante el sensor de ubicación **121** del remolcador. El controlador **119** también puede incluir un sistema de navegación que indica la velocidad instantánea del remolcador **100**. El lazo de realimentación se utiliza para provocar que la velocidad actual se acerque tanto como sea posible a y que no exceda el límite de velocidad para la ubicación instantánea del remolcador.
- El controlador **119** también puede utilizarse para controlar la aceleración y desaceleración del remolcador **100** para limitar las fuerzas horizontales aplicadas al tren de aterrizaje del avión **202** hasta un límite aceptable, por ejemplo un 4 % del peso bruto del avión, por ejemplo empleando un lazo de realimentación de control de fuerza. El controlador **119** recibe entradas de los sensores de fuerza **148** y **129**, que indican la suma de las fuerzas aplicadas al tren de aterrizaje del avión, resultado de, entre otros, el viento, las pendientes, la fricción de rodamiento, y la aceleración o desaceleración del avión **202** y/o del remolcador **100**. El lazo de realimentación de fuerza se utiliza para acelerar o desacelerar el remolcador **100** con tal de mantener las fuerzas detectadas por los sensores de fuerza **148** y **129** lo suficientemente por debajo del límite de fuerza aceptable del tren de aterrizaje, dejando opcionalmente un margen para aceleraciones inesperadas o desaceleraciones ya sea del avión **202** o del remolcador **100**.
- Cuando el remolcador **100** se utiliza en el modo de rodaje autónomo ilustrado en las Figs. de la 4A a la 4E, donde las velocidades de rodaje del remolcador **100** y del avión remolcado **202** son típicamente aquellas del modo de operación de rodaje de avión controlado por el piloto, el piloto de avión puede sustituir el sistema autónomo para cambiar al modo controlado por piloto de avión de la operación aplicando los frenos del avión y reanudando el giro del remolcador con la palanca del avión **206**. El piloto de avión también puede aplicar los frenos del avión en situaciones de emergencia.
- La operación de rodaje eficiente se proporciona en el modo de rodaje de operación autónoma debido al hecho de que los movimientos de tierra de todos los aviones en el aeropuerto se controlan con el sistema de control y mando **250** de manera integrada, evitando así que las líneas de los aviones esperen a despegar. Como se ve en la Fig. 4E, el sistema de control y mando **250** integra el movimiento de todos los aviones para que los aviones mantengan el espaciado deseado entre ellos durante el rodaje y evitar el inicio y la parada de los movimientos, dentro de todo lo posible.
- Se hace ahora referencia a las Figs. 5A, 5B, 5C, 5D y 5E, que son ilustraciones pictóricas respectivas de varios pasos en el modo autónomo de la operación del remolcador de avión sin barra de remolque **100** bajo el control de un sistema de control y mando en la torre del aeropuerto, a través del controlador **119** para el movimiento de rodaje del remolcador y para la vuelta del remolcador **100** desde el área de despegue hasta la ubicación de pre-retroceso.
- Las Figs. 5A, 5B y 5C ilustran la desconexión del remolcador **100** y las ruedas del tren de aterrizaje del avión **204**. Se aprecia que la desconexión del remolcador **100** y el avión se lleva a cabo típicamente después de que los motores del avión hayan sido activados por el piloto. El sistema de control y mando **250** puede controlar el remolcador **100** para llevar a cabo la desconexión. De manera alternativa, la desconexión del remolque puede llevarse a cabo automáticamente provocada por la detección de una ubicación del remolcador en una ubicación de desconexión predeterminada adyacente al punto de despegue. Las instrucciones de desconexión pueden comunicarse de manera inalámbrica al controlador **119**. Como respuesta a una instrucción para desconectar el remolcador, el conjunto de sujeción **147** se suelta del conjunto de fijación de las ruedas del tren de aterrizaje **204** y el remolcador **100** se desplaza hacia delante, mientras que el piloto del avión frena el avión **202** y controla la palanca del avión **206**, permitiendo que las ruedas del tren de aterrizaje del avión rueden hacia abajo de la rampa **150** y manteniendo el tren de aterrizaje paralelo al eje longitudinal **220** del avión, a medida que la rampa **150** se desplaza hacia delante relativa a este.
- Un conductor de seguridad puede estar presente sobre el remolcador **100**, en cuyo caso la desconexión puede llevarse a cabo por el conductor de seguridad de una manera convencional y normalmente está acompañada por la desconexión mediante el conductor de seguridad de un cable de comunicaciones por voz.
- La Fig. 5D ilustra una aceleración controlada y el rodaje del remolcador controlado por el controlador **119** para proporcionar una velocidad de trayectoria del remolcador que se encuentra dentro de los límites de velocidad predeterminados en ubicaciones predeterminadas a lo largo de una trayectoria autónoma del remolcador desde el área de despegue hacia la ubicación de pre-retroceso, teniendo en cuenta uno o más de los factores siguientes:
- la ubicación instantánea del remolcador **100** como indica el sensor de ubicación **121** del remolcador;
  - la información de detección de obstáculos recibida por los sensores **123** o las cámaras **124**;
  - la información a tiempo real de las ubicaciones de otros vehículos a lo largo de la trayectoria que se proporciona por el sistema de control y mando del aeropuerto **250**; y
  - la información que indica una o más trayectorias predeterminadas del remolcador **100** desde una ubicación de despegue hasta la ubicación de pre-retroceso; esta información puede guardarse en el controlador **119** o

suministrarse a tiempo real por el sistema de control y mando del aeropuerto **250**.

La Fig. 5E ilustra la desaceleración controlada y el aparcamiento del remolcador controlado por el controlador **119** en una ubicación de pre-retroceso.

5 Se hace ahora referencia a las Figs. 6A, 6B y 6C, que son ilustraciones de diagrama de la funcionalidad de rodaje del remolcador de avión sin barra de remolque **100**, que proporciona la geometría de dirección de Ackermann del avión **202**.

Volviendo a la Fig. 6A, que ilustra el avión **202** con sus ruedas del tren de aterrizaje **204** dirigiéndose rectas a lo largo del eje longitudinal **220** del avión **202**, se anotan las siguientes denominaciones:

- 10 •  $L$  = distancia a lo largo del eje longitudinal **220** del avión **202** entre el eje de rotación **302** de las ruedas del tren de aterrizaje **204**, y una línea **304** uniéndose al tren de aterrizaje principal, aquí designado con los números de referencia **306** y **308**;
- $A$  = distancia longitudinal entre una línea **310** que conecta los centros de las ruedas posteriores dirigibles **108** y **110** y una línea **312** que conecta los centros de las ruedas frontales dirigibles **104** y **106** del remolcador **100**;
- 15 •  $B$  = la distancia transversal entre los centros de las ruedas **108** y **110** y entre los centros de las ruedas **104** y **106** del remolcador **100**; y
- $C$  = la distancia entre el tren de aterrizaje principal **306** y **308** a lo largo de la línea **304**.

20 La Fig. 6B ilustra un avión **202** con sus ruedas del tren de aterrizaje **204** giradas en un ángulo  $\alpha$ , en respuesta a la dirección de un piloto de avión utilizando la palanca **206** produciendo una rotación correspondiente del montaje de soporte **125** en relación con el chasis **102** del remolcador **100**. El controlador **119** provoca la rotación de las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110** del remolcador con tal de provocar la reorientación del remolcador **100** para que  $\alpha$  llega a cero, como se ha descrito anteriormente con referencia a las Figs. de la 3A a la 3E. El controlador **119** también controla el movimiento del remolcador **100** para que el remolque de dirección de Ackermann del avión **202** se produzca, como se ilustra en la Fig. 6B, de acuerdo con los siguientes parámetros:

- 25 •  $R + C/2$  = radio instantáneo de la rotación del avión **202**;
- $\alpha$  = ángulo de rotación de las ruedas del tren de aterrizaje **204** relativo al eje longitudinal **220** del avión **202**; y
- $\beta_i$  = el ángulo de dirección de remolque de las ruedas del remolcador **100** ( $i = 104, 106, 108, \text{ y } 110$ ).

El cálculo de  $\beta_i$  como una función de  $\alpha$  puede ser el siguiente:

- 30 •  $L/[R + C/2] = \tan \alpha \gg R = L/\tan \alpha - C/2$
- $\tan(\beta_{108}) = [L - A/2 \cos \alpha - B/2 \sin \alpha]/[L/\tan \alpha + A/2 - B/2 \sin \alpha]$
- $\tan(\beta_{110}) = [L - A/2 \cos \alpha + (A/2 \tan \alpha + B/2) \sin \alpha]/[L/\tan \alpha + (A/2 \tan \alpha + B/2) \cos \alpha]$
- $\tan(\beta_{104}) = [L - A/2 \cos \alpha + B/2 \sin \alpha]/[L/\tan \alpha - A/2 + B/2 \sin \alpha]$
- $\tan(\beta_{106}) = [L - A/2 \cos \alpha - (A/2 \tan \alpha + B/2) \sin \alpha]/[L/\tan \alpha - (A/2 \tan \alpha + B/2) \cos \alpha]$

35 La Fig. 6C ilustra la operación del remolcador **100** de acuerdo con un algoritmo de rodaje del remolcador por el que el remolcador **100** se reorienta relativo al avión **202** para que  $\alpha$  sea cero. Como se ha anotado arriba con referencia a las Figs. de la 3A a la 3E, el controlador **119** reorienta el remolcador **100** rotando las ruedas dirigibles **104**, **106**, **108** y **110** del remolcador como se ha descrito arriba para reducir el ángulo  $\alpha$ , detectado por el sensor de rotación **145**, a cero. El controlador **119** puede funcionar para provocar la orientación del remolcador **100** para que el radio instantáneo de la rotación,  $R + C/2$ , del avión **202** remolcado por remolcador sea idéntico al radio instantáneo de rotación  $R + C/2$  del avión **202**, en sí mismo, para que en el ejemplo ilustrado en las Figs. de la 3A a la 3E, el piloto del avión dirija el avión del mismo modo estando empujado o no por el remolcador **100** o actuando con su propia potencia.

45 Se hace referencia ahora a las Figs. 7A y 7B, que ilustran una parte del remolcador de avión sin barra de remolque, mientras que la Fig. 7C ilustra una parte del motor de placa oscilante de ángulo variable. La presión del sistema de impulso hidrostático ( $P_s$ ) proporciona la fuerza de tracción y se utilizará para controlar la carga sobre el tren de aterrizaje del avión durante la aceleración, desaceleración y parada, a través de un Lazo de control de fuerza. El objetivo de fuerza de tracción derivará del lazo de control de velocidad, y el lazo de control de fuerza definirá la aceleración requerida para alcanzar la velocidad deseada. La salida de los lazos de control de velocidad y fuerza es el número de revoluciones por minuto (RPM) del motor diesel **160** y el ángulo de control deseado  $\Phi$  de la bomba de placa oscilante de ángulo variable **161**. La salida del control de velocidad (realimentación o feedback) es una señal del cuentakilómetros de las ruedas ( $\theta'$ ), la entrada de control de fuerza (realimentación o feedback) es la señal del sensor de fuerza ( $\Sigma F$ ) y la presión del sistema hidráulico ( $P_s$ ), la torsión del motor - fuerza de tracción del vehículo. La presión del sistema estará limitada en todo momento y a tiempo real para que no se excedan los límites de carga del tren de aterrizaje.

55 El motor diesel **160** controla la velocidad del flujo de las bombas de desplazamiento variable hidrostático, y el motor de torsión controla la presión de la bomba. El motor tiene una respuesta dinámica, modelada ligeramente como un sistema de primer orden  $N_d/(\tau_d s + 1)$  con una constante de tiempo  $\tau_d$ . La velocidad de revolución del motor hidráulico

5 163 se denota  $N_d$ . La constante de bomba hidráulica es  $K_p$ , el ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable **161** es  $\Phi$  y puede controlarse mediante una válvula (no mostrada). La constante del motor hidráulico **163** es  $D_m$  que proporciona la tracción torsión - fuerza  $F_t$ . El sistema hidráulico de amortiguador para fricción viscosa es  $B_h$ , y la masa del vehículo  $M_2$  que puede traducirse en inercia equivalente  $J_2$  como se ve con el motor. No existe un efecto de muelle en el sistema (rotación continua).

10 Con tal de aumentar el ancho de banda (mejorar la velocidad de respuesta) de los lazos de control de la velocidad y la fuerza, la servoválvula **164** se instala en el sistema hidráulico, entre las líneas de presión del motor altas y bajas. La servoválvula **164**, una válvula de respuesta rápida, controla la velocidad y la cantidad de energía disipada (absorbida). La apertura de la servoválvula **164** prácticamente "provoca una fuga" a través de un paso estrecho **165** que frena el vehículo, hasta la parada total (no fluye a través del motor - todo el flujo se vierte a través de la servoválvula **164**). Durante un frenado rápido del piloto (desaceleración de 0,4 g - 0,5 g), el sistema de absorción de energía puede ascender y entonces el impacto del vehículo (40 toneladas) lo recibe el tren de aterrizaje. Sin embargo, incluso la mayor desaceleración posible 0,5 g provocaría  $F = 40\ 000 \times 0,5g = 20\ t$  sobre el tren de aterrizaje (máximo permitido 0,15 W = 60 t para B747 por ejemplo).

15 La Fig.7A ilustra el flujo del fluido hidráulico **167** durante el periodo de no frenado. Por ejemplo, puede ocurrir cuando el avión acelera o se mueve a una velocidad sustancialmente constante. En esta situación, la servoválvula **164** (controlando la trayectoria de desviación **166**) está cerrada, para que todo el fluido hidráulico **167** fluya entre la bomba de placa oscilante del ángulo variable **161** y el motor hidráulico **162** rotando así la rueda del remolcador.

20 La Fig.7B ilustra el flujo del fluido hidráulico **167** durante el periodo de no frenado. Una vez que el piloto de avión frena el avión, la servoválvula **164** se abre, provocando una fuga del fluido hidráulico **167** a través de una trayectoria de desviación **166** entrando por un paso estrecho **165** que frena el vehículo.

La Fig. 7C ilustra el ángulo de la placa oscilante de ángulo variable que controla la velocidad del vehículo. El motor diesel controla la bomba de placa oscilante de ángulo variable **161**. Un ángulo menor bajará la presión de la bomba hidráulica, descendiendo así el flujo del líquido y frenando la rueda.

25 La Fig. 7D ilustra que una trayectoria de desviación adicional **181** puede estar conectada en paralelo a la bomba de placa oscilante de ángulo variable **161**. La trayectoria de desviación adicional incluye una servoválvula **181** y puede abrirse en respuesta ya sea a una presión del fluido hidráulico mayor a la deseada, o en respuesta a una salida de al menos un sensor de fuerza indicando el frenado del avión controlado por el piloto. Puede controlarse con el controlador **119** y/o con elementos detectores de la presión hidráulica (no mostrados).

30 Debe anotarse que ambas trayectorias de desviación pueden abrirse al detectar un frenado del avión, que pueden abrirse en paralelo o de una manera serial. Una de las trayectorias de desviación puede abrirse al detectar fuerzas de frenado que exceden un primer umbral, mientras que la otra se abre al detectar fuerzas de frenado que exceden otro umbral.

35 Por ejemplo, ambas pueden abrirse al detectar fuerzas de frenado de aproximadamente 0,5 g o más mientras que solo la trayectoria de desviación adicional puede abrirse al detectar las fuerzas de frenado que no exceden un 0,2 g.

40 La Fig. 8A es un diagrama de bloques de las entradas y salidas del lazo de control de fuerza **171** y el lazo de control de velocidad **172** que son parte del controlador **119**. El lazo de control de fuerza y el lazo de control de velocidad son el número de revoluciones por minuto (denominado  $N_d$ ) del motor diésel **160** y el ángulo de control ( $\Phi$ ) de la bomba de placa oscilante de ángulo variable **161**. La entrada (realimentación o feedback) al lazo de control de fuerza **171** puede ser una señal del sensor de fuerza y la presión del sistema hidráulico ( $P$ ). La entrada del lazo de control de velocidad **172** puede ser la señal del cuentakilómetros de las ruedas.

La Fig. 8B ilustra un ejemplo de un controlador de Múltiple Entrada/Múltiple Salida (MIMO). El controlador controla la velocidad y fuerza aplicada por el remolcador sin barra de remolque. Este recibe múltiples variables de entradas como por ejemplo:

- 45
- $W_{des}$  - velocidad deseada del remolcador sin barra de remolque  $V_{des}$  por la velocidad del motor diésel (número de revoluciones por minuto);
  - $D_p$  - el desplazamiento de la bomba hidrostática (torsión/flujo  $T_p = D_pXP$ ,  $Q_p = D_{pwe}$ ); y
  - $D_m$  - el desplazamiento del motor hidrostático (torsión/flujo  $T_m = D_mXP$ ,  $Q_m = D_{mwm}$ );

así como salidas de múltiples variables de control como:

- 50
- $V_{eh}$  - Velocidad del vehículo (que está controlada por la velocidad del motor hidráulico  $W_m$ );
  - $F_{tracción}$  - Fuerza de tracción del vehículo (que está controlada por la presión del motor hidráulico  $P$ ); y
  - $W_{eMotor}$  - velocidad del motor diésel.

La Fig. 9 ilustra varias fuerzas aplicadas sobre el avión y sobre el remolcador sin barra de remolque.

La Fig.10 ilustra varios lazos de control que están implementados por un controlador del remolcador de avión sin barra de remolque.

La Fig.11 es un diagrama de flujo del procedimiento **2000** para remolcar un avión.

5 El procedimiento **2000** comienza por el paso **2010** para remolcar un avión con un remolcador de avión sin barra de remolque a la vez que se detecta, al menos con un sensor de fuerza, una fuerza aplicada al tren de aterrizaje de un avión al menos en una dirección generalmente horizontal y mientras se mantiene cerrada una trayectoria de desviación; en el que la trayectoria de desviación está unida a una bomba de placa oscilante de ángulo variable y al motor hidráulico de un módulo de impulso de rueda del remolcador que está conectado a una rueda de remolcador.

10 El paso **2010** puede implementarse para cualquiera de las actividades de remolcador de avión sin barra de remolque mencionadas arriba.

Al paso **2010** le sigue el paso **2015** de detección del frenado controlado por el piloto del avión. El paso **2010** se inicia con uno de los sensores de fuerza.

Al paso **2015** le sigue el paso **2020** para determinar la apertura de una trayectoria de desviación.

15 Al paso **2020** le sigue el paso **2030** de apertura, mediante un controlador de remolcador, al menos parcialmente en respuesta a una salida de al menos un sensor de fuerza indicando un frenado de avión controlado por el piloto del avión, una trayectoria de desviación para reducir una fuerza aplicada al tren de aterrizaje del avión como resultado de un frenado del avión controlado por el piloto, en el que durante un periodo de frenado que sigue a la apertura de la trayectoria de desviación circula al menos la mayoría del fluido entre el motor hidráulico y la trayectoria de desviación para reducir una velocidad rotacional de la rueda del remolcador.

20 El paso **2030** puede incluir ya sea uno de los siguientes o una combinación de estos:

- la apertura de una trayectoria de desviación formada con un tamaño para reducir un flujo de fluido hidráulico a través de la trayectoria de desviación en relación con un flujo de fluido hidráulico cuando la trayectoria de desviación está cerrada;
- la apertura de la trayectoria de desviación, utilizando una válvula, dentro de un periodo de tiempo que es mucho menor que el periodo de frenado; y
- la apertura de la trayectoria de desviación, utilizando una válvula, dentro de un periodo de tiempo que es mucho menor que un periodo de resonancia del motor hidráulico.

30 Al paso **2030** le sigue el cierre de la trayectoria de desviación. La trayectoria de desviación puede cerrarse cuando la fuerza aplicada sobre el tren de aterrizaje está por debajo de un umbral o cuando un periodo de frenado predefinido ha acabado o una combinación de estos. El periodo de frenado puede parar cuando el avión para por completo o viaja a una velocidad que está por debajo de un umbral de velocidad predeterminado.

35 El procedimiento **2000** puede incluir el paso **2040** para aplicar uno o más lazos de control. El paso **2040** puede llevarse a cabo en paralelo a uno de los pasos **2010**, **2015**, **2020**, **2030** y **2035**. El paso **2040** puede incluir la aplicación de un lazo de control de velocidad, un lazo de control de fuerza, un lazo de realimentación y/o de alimentación previa, y similares.

El paso **2040** puede incluir la determinación, por parte del controlador del remolcador, de un ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable. Convenientemente, el paso **2020** para determinar la apertura de trayectoria de desviación incluye la aplicación de un lazo de control que puede iniciarse con la salida de tal lazo de control.

40 El paso **2040** puede incluir al menos uno de los siguientes o la combinación de estos:

- controlar la velocidad del remolcador de avión sin barra de remolque y aplicar una fuerza sobre el tren de aterrizaje del avión determinando un ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable;
- introducir cambios rápidos en el ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable para evitar que se aplique una fuerza sobre el tren de aterrizaje del avión que exceda el umbral de fuerza;
- inducir cambios lentos en el ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable en respuesta a una velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque; y
- aplicar un procedimiento de alimentación previa para determinar el ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable.

50 El paso **2040** incluye sub-pasos para detectar un cambio de velocidad del avión (**2042**), aplicando un procedimiento de alimentación previa a la bomba de placa oscilante de ángulo variable (**2044**), que provoca el cambio del ángulo de control de la bomba de placa oscilante de ángulo variable (**2046**) que provoca que el avión se frene.

La Fig. 12 ilustra el avión incluyendo un dispositivo EFB (bolsa de vuelo electrónica) **991** que comunicaba (de manera inalámbrica) con un EFB **992** del remolcador de avión sin barra. Ambos EFB pueden estar equipados con

pantallas. Estos EFB pueden permitir al piloto controlar desde lejos el remolcador de avión sin barra de remolque.

El EFB **992** puede comunicarse de manera inalámbrica con un centro de mando remoto como una torre de aeropuerto. La comunicación inalámbrica puede permitir proporcionar la información a la torre del aeropuerto y enviar órdenes al remolcador de avión sin barra de remolque. Pueden utilizarse varios protocolos de comunicación como Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth, y similares.

La Fig. 13 ilustra el remolcador de avión sin barra de remolque que incluyen una primera cámara **881** que se dirige al frente del remolcador de avión sin barra de remolque y que puede ayudar a detectar obstáculos, y una segunda cámara **882** que visualiza el montaje de soporte **125** y puede ayudar a controlar la manera en que la rueda se sujeta en el remolcador de avión sin barra de remolque.

El movimiento del remolcador de avión sin barra de remolque puede producirse en respuesta a la localización y movimientos de uno o más remolcadores de avión sin barra de remolque. Si los remolcadores de avión sin barra de remolque comparten la misma trayectoria (o si sus trayectorias se solapan) el remolque de uno de los remolcadores de avión sin barra de remolque debería producirse en respuesta al procedimiento de remolque del otro remolcador de avión sin barra de remolque.

Asumiendo que se espera que dos remolcadores de avión sin barra de remolque remolquen sus aviones hacia la misma pista de despegue en la que debería terminar el procedimiento de remolque en la misma ubicación sustancialmente (que es normalmente el principio de la pista de despegue), y asumiendo que existe una diferencia temporal predefinida entre los despegues adyacentes. Si, por ejemplo, se espera que llegue un primer avión (mediante el remolcador) al principio de la pista de despegue en un primer punto en el tiempo, entonces un segundo avión no debería llegar (al principio de la pista de despegue) hasta después de haber pasado una diferencia temporal predefinida. Típicamente, en lugar de definir una única diferencia temporal se define un intervalo de diferencias temporales deseadas. Las diferencias temporales normalmente dependen del rendimiento del aeródromo y de la actual carga de tráfico aéreo. Las diferencias temporales típicas pueden variar entre uno y tres minutos, pese a que esto no es necesario.

En muchos casos estas diferencias temporales pueden obtenerse al reducir la velocidad de remolque de manera que la velocidad de remolque actual es inferior a la velocidad de remolque máxima permitida. La velocidad de remolque máxima permitida está normalmente definida por área y es una respuesta a varias variables como la inclinación de la carretera, las condiciones meteorológicas (por ejemplo, nieve, lluvia, fuertes vientos), la curvatura de la carretera, y otros factores que afectarían a la velocidad de remolque máxima permitida.

Una reducción de velocidad puede reducir la contaminación del aire y también puede reducir los intentos de frenar del piloto.

La velocidad requerida puede calcularse con el remolcador de avión sin barra de remolque, por una entidad de control central y similares. Por ejemplo, un remolcador de avión sin barra de remolque puede calcular la velocidad deseada de uno o más remolcadores de avión sin barra de remolque.

La información relacionada con la ubicación y adicional o alternativamente la velocidad de los remolcadores de avión sin barra de remolque puede transmitirse desde un remolcador de avión sin barra de remolque al otro, a una entidad de control central, y similares. Un remolcador de avión sin barra de remolque puede transmitir información relacionada con uno o más remolcadores de avión sin barra de remolque a cada uno y, adicional o alternativamente, a una entidad de control central.

La figura 14 ilustra tres remolcadores de avión sin barra de remolque **1601**, **1602**, y **1603**. Se asume que los tres remolcadores de avión sin barra de remolque remolcan sus aviones hacia la misma pista de despegue **1610**, y que este remolcador debería acabar en la misma ubicación sustancialmente, es decir, en el área de la pista **1612**. Los remolcadores de avión sin barra de remolque **1601**, **1602** y **1603** pueden intercambiar información relacionada con su velocidad y ubicación y, adicional o alternativamente, esta información puede proporcionarse por una entidad central como un sistema de control de la torre del aeropuerto, como el sistema de control ilustrado en la Fig. 4E.

Los tres remolques de avión sin barra de remolque **1601**, **1602** y **1603** pueden utilizar radares u otros detectores para detectar la velocidad y/o ubicación de cada uno.

Se asume que el remolcador de avión sin barra de remolque **1601** precede al remolcador de avión sin barra de remolque **1602** y que el remolcador de avión sin barra de remolque **1603** sigue al remolcador de avión sin barra de remolque **1602**. También se asume que se define un intervalo de diferencia temporal permitido, por ejemplo entre  $\Delta t_1$  y  $\Delta t_2$ .

Se espera que el remolcador de avión sin barra de remolque **1602** llegue a la ubicación **1612** en un primer punto en el tiempo  $t_1$ . Este tiempo de llegada esperado puede calcularse o medirse (si el remolcador de avión sin barra de remolque **1602** ya llegó al área de pista **1612**) por cualquiera de los remolcadores de avión sin barra de remolque **1601**, **1602** y **1603** o por otra entidad y puede enviarse a los remolcadores de avión sin barra de remolque **1602** y **1603**.

El sistema de remolque del remolcador de avión sin barra de remolque **1602** puede estar diseñado para que alcance el área de pista **1612** en un segundo punto de tiempo  $t_2$ , en el que  $t_2$  oscila entre  $(t_1 + \Delta t_1)$  y  $(t_1 + \Delta t_2)$ . El sistema de remolque incluye la velocidad deseada a lo largo de la trayectoria que lleva a la ubicación **1612**. En cualquier caso, la velocidad deseada no debería exceder la velocidad permitida como dictan las condiciones de carretera y aire. El sistema de remolque puede calcularse con una entidad de control central del remolcador de avión sin barra de remolque **1602** pero también puede calcularse con otro remolcador de avión sin barra de remolque.

El sistema de remolque del remolcador de avión sin barra de remolque **1603** puede estar diseñado para que alcance el área de pista **1612** en el tercer punto de tiempo  $t_3$ .  $t_3$  oscila entre  $(t_2 + \Delta t_1)$  y  $(t_2 + \Delta t_2)$ . El sistema de remolque incluye la velocidad deseada a lo largo de la trayectoria que lleva a la ubicación **1612**. En cualquier caso, la velocidad deseada no debería exceder la velocidad permitida que dictan las condiciones de carretera y aire. El sistema de remolque puede calcularse con una entidad de control central del remolcador de avión sin barra de remolque **1603**, o mediante otro remolcador de avión sin barra de remolque.

Puede aplicarse un sistema de control de crucero al remolcador de avión sin barra de remolque.

El sistema de control de crucero permite al piloto dictar la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque manteniendo la velocidad del avión dentro de un intervalo de velocidad predefinido durante un periodo predefinido, por ejemplo en casos en los que la velocidad actual del remolcador de avión sin barra es menor a la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque.

El sistema de control de crucero permite al piloto dictar la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque llevando a cabo un frenado o desaceleración controlada por el piloto, en caso de que la velocidad actual de un remolcador de avión sin barra de remolque sea mayor a la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque.

El piloto puede salir del control de crucero, permitiendo así que el remolcador de avión sin barra de remolque intente ajustar la velocidad actual a la velocidad deseada, presionando los frenos y desconectando el mecanismo de control de crucero.

La Fig. 15 ilustra un procedimiento **1700** para remolcar un avión;

El procedimiento **1700** comienza con cualquiera de los pasos **1707**, **1708**, y **1709**.

El paso **1707** incluye calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque. El paso **1707** puede incluir al menos uno de los siguientes:

- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación;
- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en la ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque;
- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en la ubicación y velocidad de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque que comparte al menos una trayectoria con el remolcador de avión sin barra de remolque;
- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en un tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta el final de una ubicación de remolcador; y
- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación, en el tiempo de llegada estimado de otro remolcador de avión sin barra de remolque hasta el final del punto de remolque, y en un tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta el final de la ubicación del remolcador.

El paso **1708** incluye transmitir la información de velocidad y ubicación al menos a otro remolcador de avión sin barra de remolque. El paso **1708** puede incluir transmitir la información de velocidad y ubicación a un centro de mando remoto y recibir desde el centro de mando remoto la información de velocidad y ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque.

El paso **1709** incluye detectar la velocidad y ubicación de al menos un remolcador de avión sin barra de remolque utilizando un sensor como un sensor radar o láser o similar.

A los pasos **1707**, **1708**, y **1709** les sigue el paso **1710** de comparar entre una velocidad actual de un remolcador de avión sin barra de remolque y una velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque. La velocidad actual puede medirse y la velocidad deseada puede recibirse por el remolcador de avión sin barra de remolque o puede calcularse por él mismo.

Al paso **1710** le sigue el paso **1720** de mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque si la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque es menor a la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque, y si la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque se mantuvo dentro de un intervalo de velocidad predefinido durante un periodo predefinido que precedía a la comparación. El

intervalo de velocidad predefinido puede ser un intervalo relativamente estrecho.

5 El paso **1710** también puede ir seguido del paso **1730** de mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque si la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque es mayor a la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque y si se detecta al menos el frenado o la desaceleración del avión controlada por el piloto.

Los pasos **1720** y **1730** pueden ir seguidos del paso **1740** de cambiar la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque con tal de ajustar la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque si se detecta un frenado controlado por el piloto del avión.

10 El procedimiento **1700** también puede incluir el paso **1790** de aplicar una fuerza de tracción positiva con el remolcador de avión sin barra de remolque durante el remolque del avión. Únicamente mediante la aplicación puede extenderse o no resultar afectado por las fuerzas adicionales aplicadas por el remolcador.

La Fig. 16 es un diagrama temporal que ilustra una relación entre la velocidad deseada y la velocidad actual.

15 Como modo de explicación, la Fig. 18 incluye valores de velocidad, valor de fuerza, y valores de número de revoluciones por minuto (RPM). Estos son ejemplos no limitativos de velocidades, fuerzas y números de revoluciones por minuto.

20 El diagrama temporal ilustra un ejemplo de cambios (en el tiempo) de una velocidad deseada de un remolcador sin barra de remolque (también denominada "velocidad deseada"), una velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque (también denominada "velocidad actual"), un frenado aplicado por un piloto, una fuerza aplicada sobre el tren de aterrizaje del avión (que se sujeta con el remolcador de avión sin barra de remolque) y una velocidad de revoluciones del motor diésel del remolcador de avión sin barra de remolque.

La tabla 1 ilustra estos valores durante los puntos en el tiempo  $t_0 - t_{18}$ .

**Tabla 1**

| Tiempo   | Velocidad deseada | Velocidad actual | ¿frenado aplicado por el piloto? | Fuerza aplicada al tren de aterrizaje por el remolque - porcentaje del peso del avión en el despegue | Número de revoluciones por minuto del motor diésel |
|----------|-------------------|------------------|----------------------------------|--|--|
| $t_0$    | 0                 | 0                | Sí                               | 3 %  | 1500   |
| $t_1$    | 10                | 0                | No                               | 3 %  | 1500   |
| $t_2$    | 10                | 5                | No                               | 3-5 %  | 2200   |
| $t_3$    | 10                | 10               | No                               | 5-2 %  | 2200   |
| $t_4$    | 20                | 10               | No                               | 2 %  | 2200   |
| $t_5$    | 20                | 20               | No                               | 5 %  | 2200   |
| $t_6$    | 10                | 20               | Sí                               | 2 %  | 2200   |
| $t_7$    | 10                | 11               | No                               | 2 %  | 2200   |
| $t_8$    | 20                | 11               | Sí                               | 2 %  | 2200   |
| $t_9$    | 20                | 0                | Sí                               | 3 %  | 2200   |
| $t_{10}$ | 20                | 0                | No                               | 3 %  | 1500   |
| $t_{11}$ | 20                | 5                | No                               | 3-5 %  | 2200   |
| $t_{12}$ | 20                | 10               | Sí                               | 5 %  | 2200   |
| $t_{13}$ | 10 (20)           | 10               | No                               | 2 %  | 2200   |
| $t_{14}$ | 10 (20)           | 10               | Sí                               | 2 %  | 2200   |
| $t_{15}$ | 20                | 8                | No                               | 3-5 %  | 2200   |
| $t_{16}$ | 20                | 20               | No                               | 5 %  | 2200   |
| $t_{17}$ | 20                | 20               | No                               | 2 %  | 2200   |
| $t_{18}$ | 20                | 0                | Sí                               | 3 %  | 1500   |

25 El procedimiento de remolque comienza en  $t_1$ . Entre  $t_0$  y  $t_1$  el piloto presiona los frenos y el remolcador de avión sin barra de remolque deja de moverse.

En  $t_1$  el remolcador de avión sin barra de remolque comienza a moverse y su velocidad actual aumenta hasta que

alcanza (en  $t_3$ ) una velocidad deseada de 10 nudos. En  $t_4$  la velocidad deseada aumenta a 20 nudos y entre  $t_4$  y  $t_5$  la velocidad del remolcador de avión sin barra de remolque aumenta hasta que alcanza (en  $t_5$ ) la velocidad deseada de 20 nudos. Entre  $t_5$  y  $t_6$  la velocidad actual y la velocidad deseada son iguales a 20 nudos y el remolcador mantiene su velocidad. Entre  $t_6$  y  $t_7$  el piloto presiona los frenos (por una posible maniobra de giro con una velocidad deseada menor a 10 nudos) y la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque desciende hasta los 11 nudos en  $t_8$ . Entre  $t_8$  y  $t_{10}$  el piloto presiona los frenos y pese a que la velocidad deseada es de 20 nudos, la velocidad actual desciende a cero (en  $t_9$ ) y se mantiene en este nivel hasta  $t_{10}$ . Entre  $t_{10}$  y  $t_{12}$  la velocidad del remolcador aumenta a 10 nudos. Entre  $t_{12}$  y  $t_{13}$  el piloto mantiene la velocidad del avión a unos 10 nudos y esto provoca que la velocidad deseada cambie a 10 nudos. En otras palabras, el piloto establece la velocidad de crucero a 10 nudos. Esta velocidad se mantiene hasta que el piloto presiona los frenos durante un corto periodo (entre  $t_{14}$  y  $t_{15}$ ) y desconecta el control de crucero. Por consiguiente, la velocidad deseada se restablece a 20 nudos y entre  $t_{15}$  y  $t_{16}$  la velocidad aumenta hasta que alcanza 20 nudos. En  $t_{17}$  el piloto comienza una sesión de un frenado que provoca que el remolcador de avión sin barra de remolque pare.

El diagrama temporal también ilustra que estas aceleraciones y desaceleraciones pueden provocar cambios en la fuerza aplicada al tren de aterrizaje por el remolcador de avión sin barra de remolque. Se detectan picos en  $t_3$ ,  $t_5$ , entre  $t_8$  y  $t_9$ , en  $t_{12}$ , y en  $t_{16}$ .

La figura 17 ilustra un procedimiento **1900** para controlar un remolcador de avión sin barra de remolque.

El procedimiento **1900** comienza con el paso **1910** de obtener, mediante el remolcador de avión sin barra de remolque, la información de velocidad y ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque que se espera que comparta al menos una parte de una trayectoria de remolque con el remolcador de avión sin barra de remolque.

Al paso **1910** le sigue el paso **1920** de calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en una velocidad y ubicación del remolcador de avión sin barra de remolque y la información de velocidad y ubicación.

El paso **1920** puede ir seguido de los pasos **1930** y **1940**.

El paso **1930** incluye proporcionar la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque. Al paso **1930** le sigue el paso **1940** de mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque en respuesta a la velocidad deseada.

Al paso **1940** le sigue el paso **1950** de remolcar un avión con un remolcador de avión sin barra de remolque en respuesta a la velocidad deseada.

El procedimiento **1900** puede incluir la aplicación de un sistema de control de crucero, y adicional o alternativamente, la determinación de una velocidad deseada basándose al menos en la velocidad y/o ubicación de otro remolcador de avión sin barra de remolque.

El paso **1920** puede incluir al menos uno de los siguientes:

- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en una ubicación y un tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta una ubicación de fin de remolque; y
- calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en una ubicación del remolcador sin barra de remolque, un tiempo de llegada estimado de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque hasta el punto de fin de remolque, y el tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta la ubicación de fin de remolque.

El procedimiento **1900** también incluye uno o más de los siguientes pasos:

- el paso **1990** de transmitir la información de velocidad y ubicación al menos a otro remolcador de avión sin barra de remolque;
- el paso **1992** de transmitir la información de velocidad y ubicación a un centro de mando remoto;
- el paso **1993** de recibir la información de velocidad y ubicación del centro de mando remoto de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque; y
- el paso **1994** de detectar una velocidad y ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque utilizando un sensor como un radar o un sensor láser, o similares.

El controlador **119** del remolcador de avión sin barra de remolque **100** puede participar en la ejecución de cualquiera de los procedimientos **1700** y **1900**.

Por ejemplo, el controlador **119** puede estar configurado para elaborar al menos una de las siguientes operaciones o una combinación de ellas:

- comparar entre una velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque y una velocidad deseada del mismo;
  - controlar la al menos una rueda dirigitible del remolcador para mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque si la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque es menor a la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque, y si la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque se mantuvo dentro de un intervalo de velocidad predefinido (por ejemplo, un intervalo estrecho predefinido) durante un periodo predefinido que precedía a la comparación;
  - controlar la al menos una rueda dirigitible del remolcador para mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque si la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque es mayor a la velocidad deseada del mismo, y si se detecta al menos un frenado y desaceleración del avión controlada por el piloto del avión;
  - controlar la al menos una rueda dirigitible del remolcador para cambiar la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque y ajustarla a la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque si se detecta un frenado del avión controlado por el piloto;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en una ubicación del remolcador de avión sin barra de remolque;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en la ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en la ubicación y velocidad de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque que comparte al menos una trayectoria con el remolcador de avión sin barra de remolque;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en un tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta una ubicación de fin de remolque; y
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación, y un tiempo de llegada estimado de otro remolcador de avión sin barra de remolque hasta un punto de fin de remolque; y un tiempo de llegada del remolcador de avión sin barra de remolque hasta la ubicación de fin de remolque.
- De acuerdo con otro ejemplo, el controlador **119** puede estar configurado para elaborar al menos una de las siguientes operaciones o una combinación de ellas:
- recibir la información de velocidad y ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque que se espera que comparta al menos una parte de una trayectoria de remolque con el remolcador de avión sin barra de remolque;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su velocidad y ubicación y en la información de velocidad y ubicación;
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación y en un tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta la ubicación de fin de remolque; y
  - calcular la velocidad deseada del remolcador de avión sin barra de remolque basándose en su ubicación, un tiempo de llegada estimado de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque hasta el punto de fin de remolque, y el tiempo de llegada deseado del remolcador de avión sin barra de remolque hasta la ubicación de fin de remolque.
- El remolcador de avión sin barra de remolque puede incluir un receptor y un transmisor. Con referencia al ejemplo establecido en la Fig. 4E, estos pueden incluirse o integrarse de otra manera dentro del controlador **119**. El transmisor puede configurarse para transmitir la información de velocidad y ubicación al menos a otro remolcador de avión sin barra de remolque. El transmisor puede transmitir la información de velocidad y ubicación al centro de mando remoto (como el sistema de control en la torre del aeropuerto) y el receptor puede recibir desde el centro de mando remoto la información de velocidad y ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque.
- El remolcador de avión sin barra de remolque también puede incluir un radar, un sensor láser, o similares, configurado para detectar una velocidad y ubicación de al menos otro remolcador de avión sin barra de remolque. El radar, sensor láser, o similar puede tener un alcance de unos pocos cientos de metros y puede operar a frecuencias muy altas (40 Ghz y más).

**REIVINDICACIONES**

1. Un remolcador de avión sin barra de remolque (100) configurado para recibir un tren de aterrizaje de avión y para remolcarlo, mediante el mismo, a una velocidad actual, comprendiendo dicho remolcador de avión sin barra de remolque (100):

- 5
- un chasis (102) configurado para recibir sobre el mismo al menos una parte de dicho tren de aterrizaje; y
  - una disposición de propulsión configurada para desplazar el remolcador de avión sin barra de remolque (100) en una dirección a lo largo de una trayectoria;

**caracterizado porque** el remolcador de avión sin barra de remolque (100) comprende además un controlador (119) configurado para:

- 10
- comparar entre la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque (100), al remolcar el avión, y una velocidad predeterminada deseada del mismo;
  - detectar el frenado y desaceleración del avión controlados por el piloto del avión;
  - dirigir dicha disposición de propulsión para cambiar la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque para coincidir con la velocidad deseada si la velocidad actual es menor que la velocidad deseada; y
- 15
- reducir la velocidad deseada a la velocidad actual y dirigir dicha disposición de propulsión para mantener la velocidad actual del remolcador de avión sin barra de remolque (100) si:
- o se detecta al menos uno de un frenado y desaceleración de dicho avión controlados por el piloto del avión;
- o la velocidad actual es menor que la velocidad deseada; y
- 20
- o la velocidad actual se mantuvo por debajo de la velocidad deseada durante un periodo predefinido que precedió a la comparación debido al frenado y desaceleración detectados controlados por el piloto del avión.

2. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el controlador está configurado además para dirigir dicha disposición de propulsión para mantener la velocidad actual si:

- la velocidad actual es mayor que la velocidad deseada; y
- se detecta al menos uno de un frenado y desaceleración de dicho avión controlados por el piloto del avión.

25 3. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular la velocidad deseada.

4. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular una fuerza de tracción deseada correspondiente a la velocidad deseada.

30 5. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador.

35 6. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador y una ubicación de al menos otro remolcador.

7. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador y una ubicación y una velocidad de al menos otro remolcador que comparte al menos una trayectoria con el mismo.

40 8. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador y en un tiempo deseado de llegada del mismo al final de una ubicación de remolque.

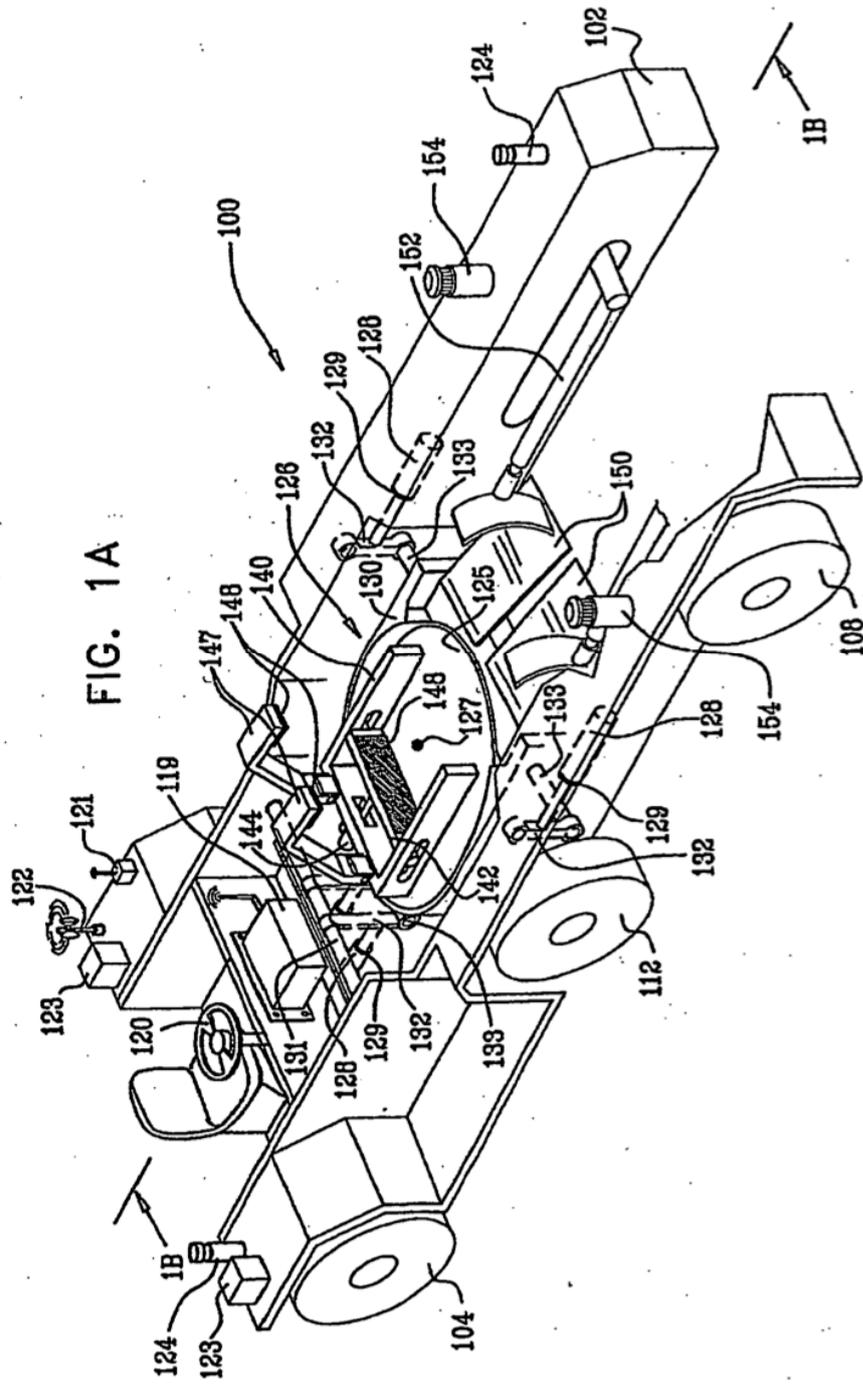
45 9. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador está configurado además para calcular la velocidad deseada basándose al menos en una ubicación del remolcador, un tiempo estimado de llegada de otro remolcador al final de un punto de remolque, y un tiempo deseado de llegada del remolcador al final de una ubicación de remolque.

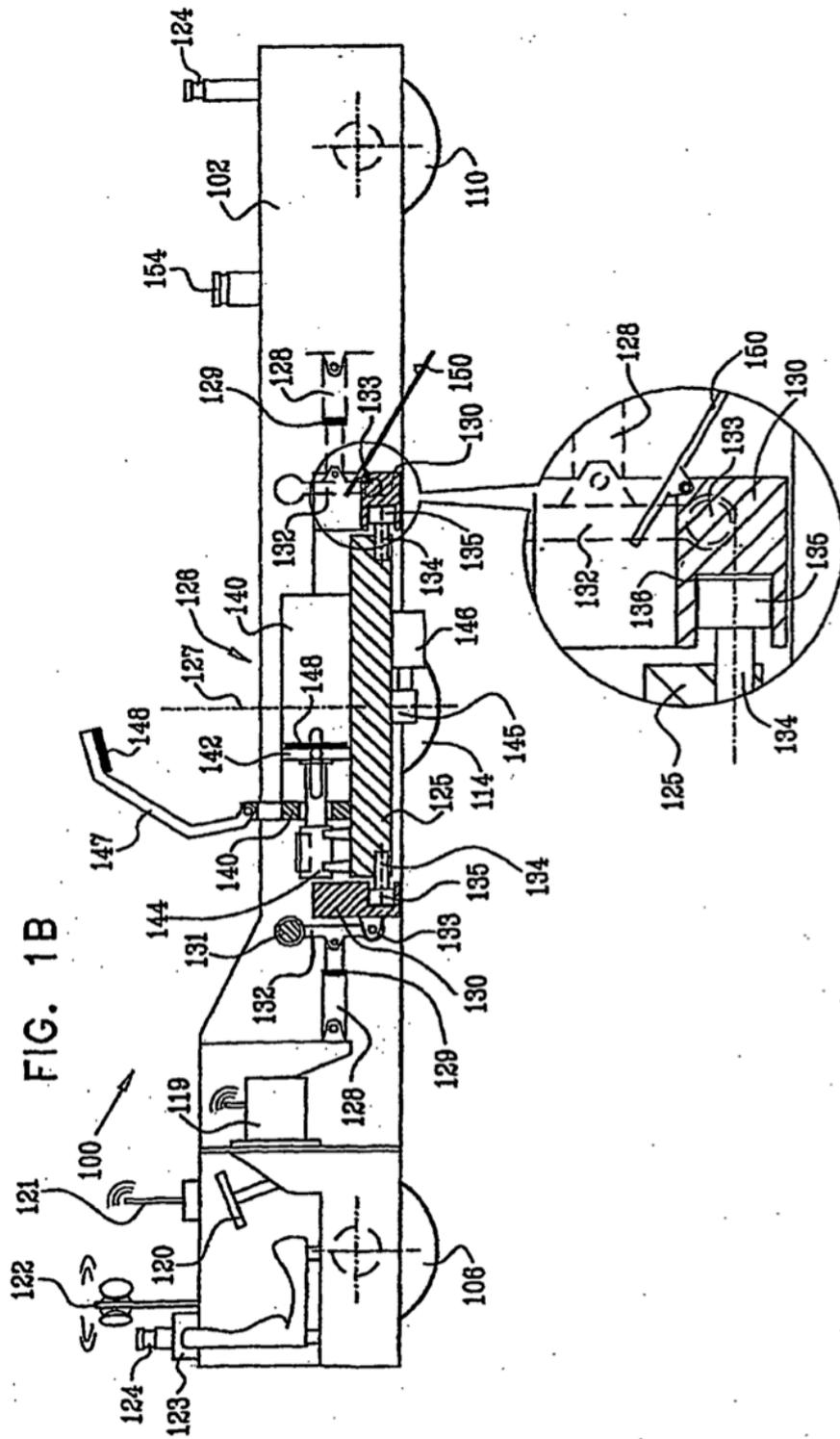
10. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un transmisor configurado para transmitir información referente a la velocidad y ubicación del remolcador.

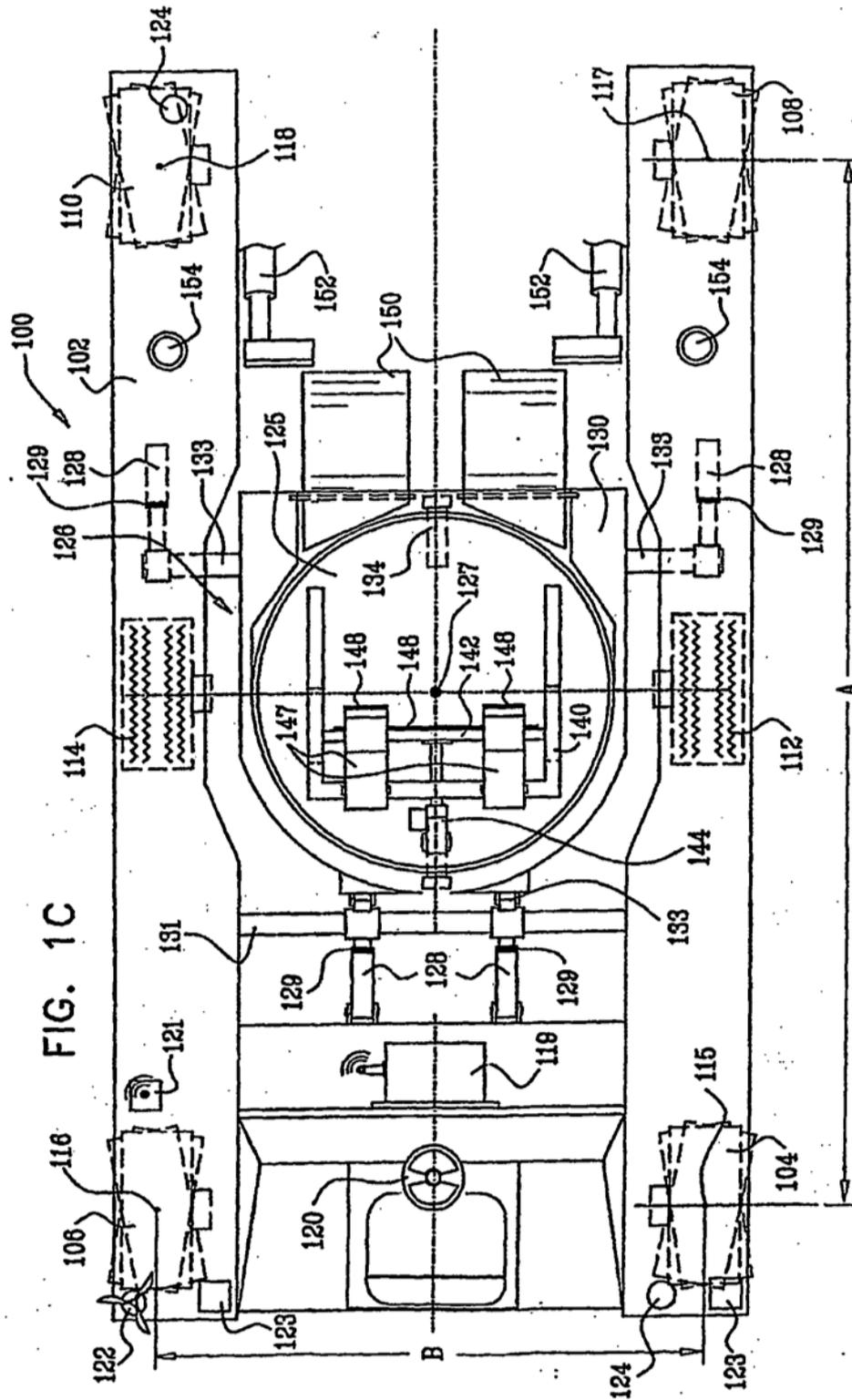
50 11. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además un receptor configurado para recibir información referente a la velocidad y ubicación de al menos otro remolcador desde un centro de mando remoto.

12. El remolcador de avión sin barra de remolque de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un detector configurado para detectar una velocidad y una ubicación de al menos otro remolcador utilizando un sensor; estando configurado dicho controlador para calcular la velocidad deseada basándose al menos en la velocidad y ubicación de dicho otro remolcador.

5







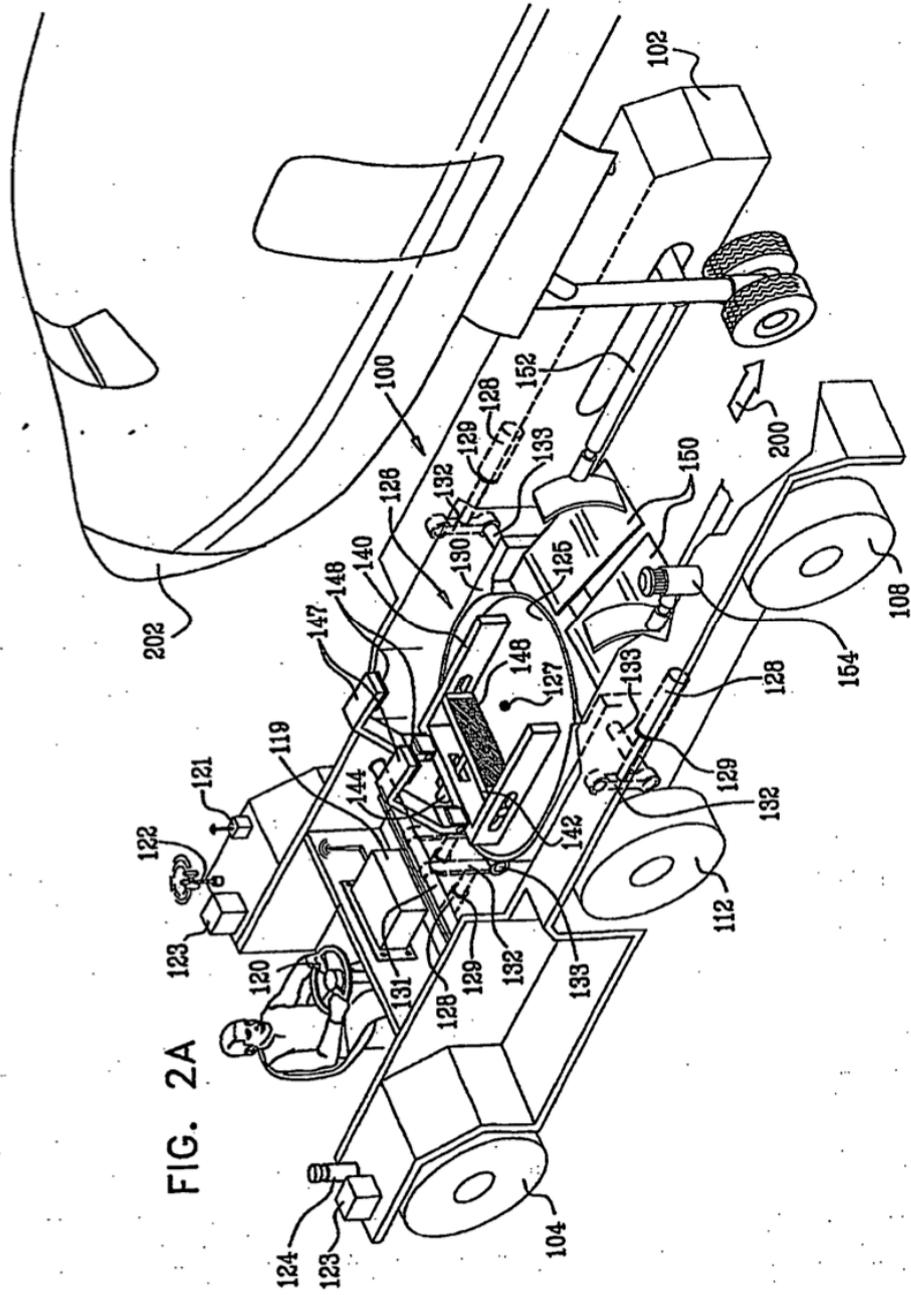
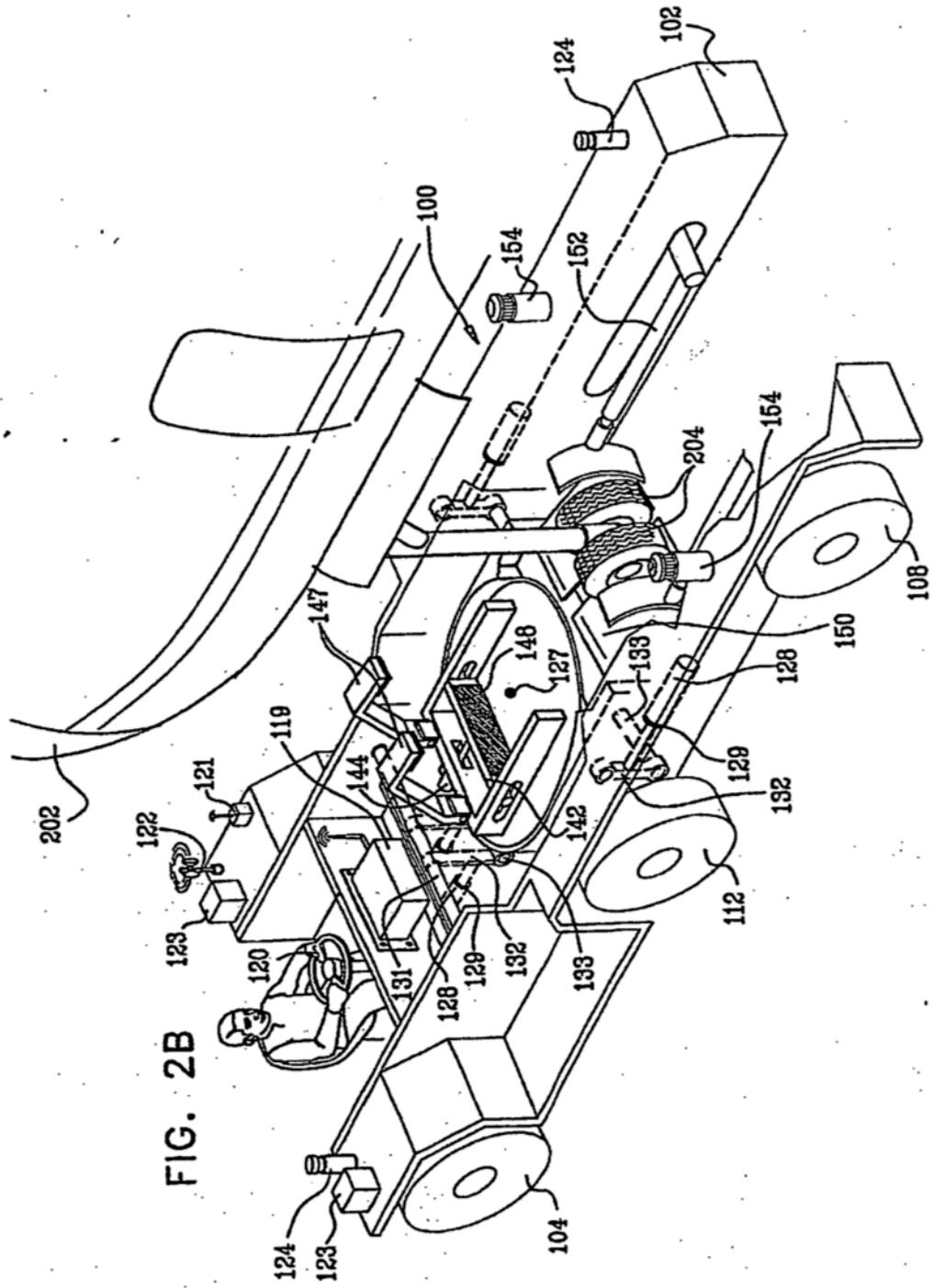


FIG. 2A









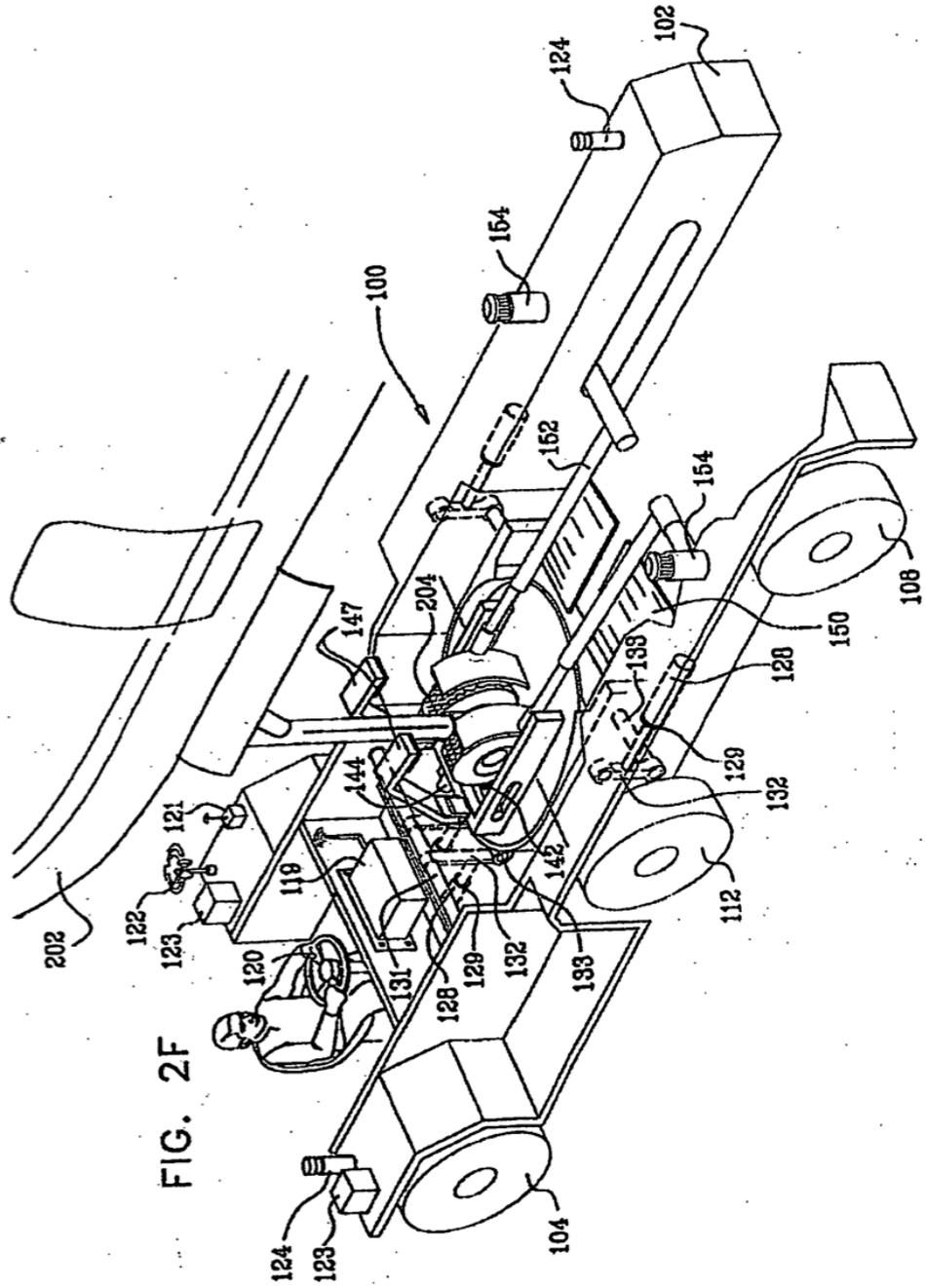


FIG. 2F

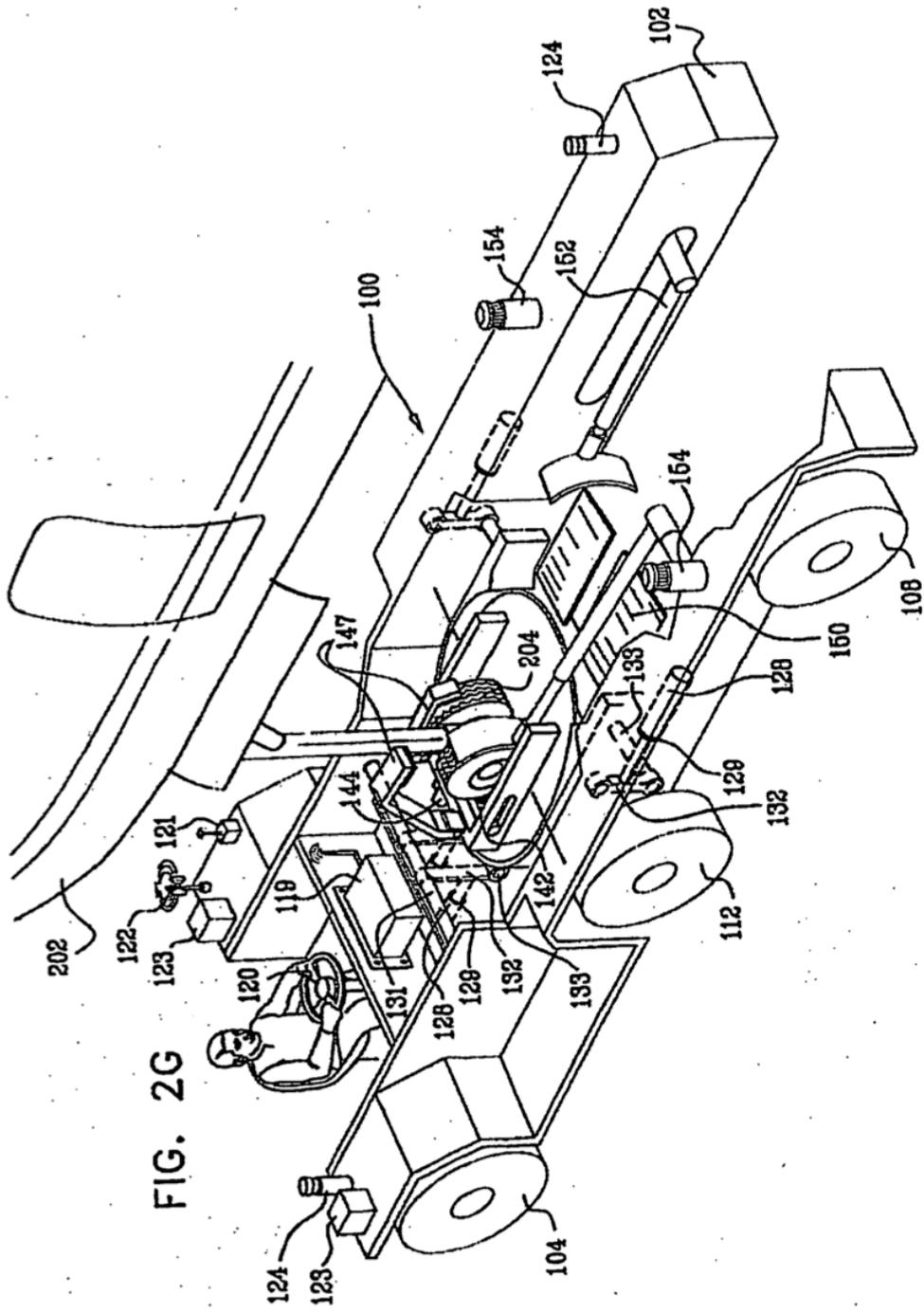


FIG. 2G





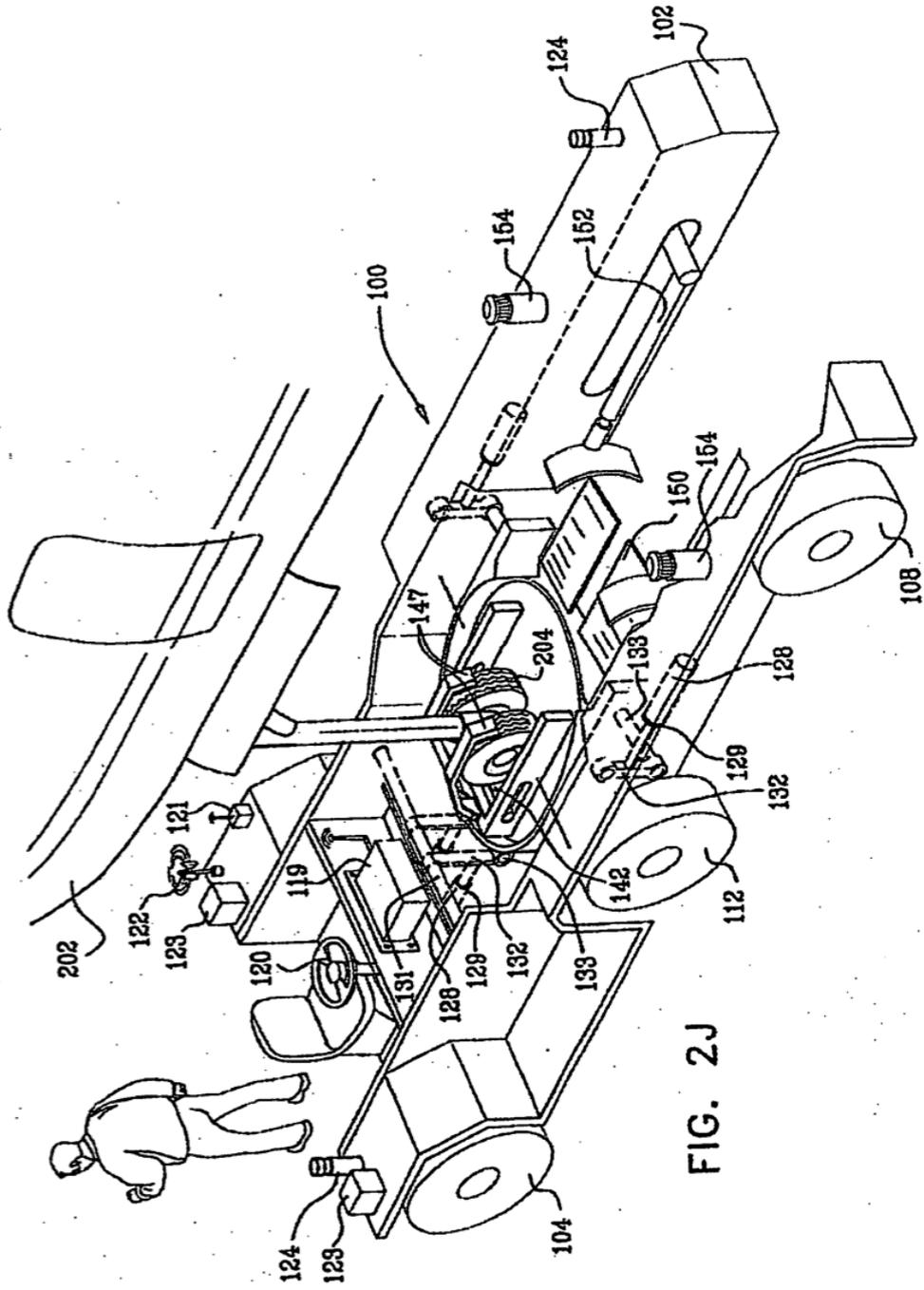
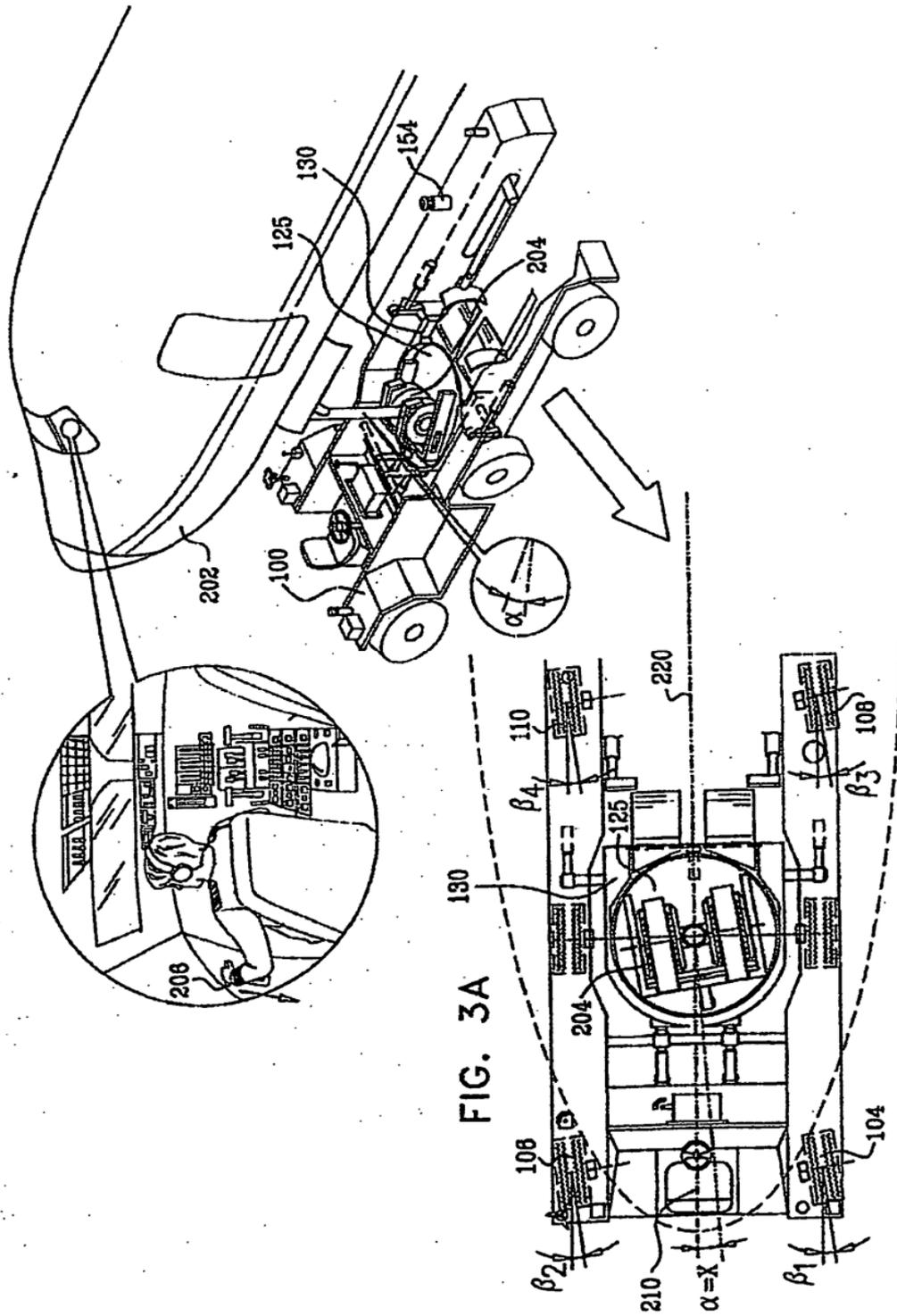
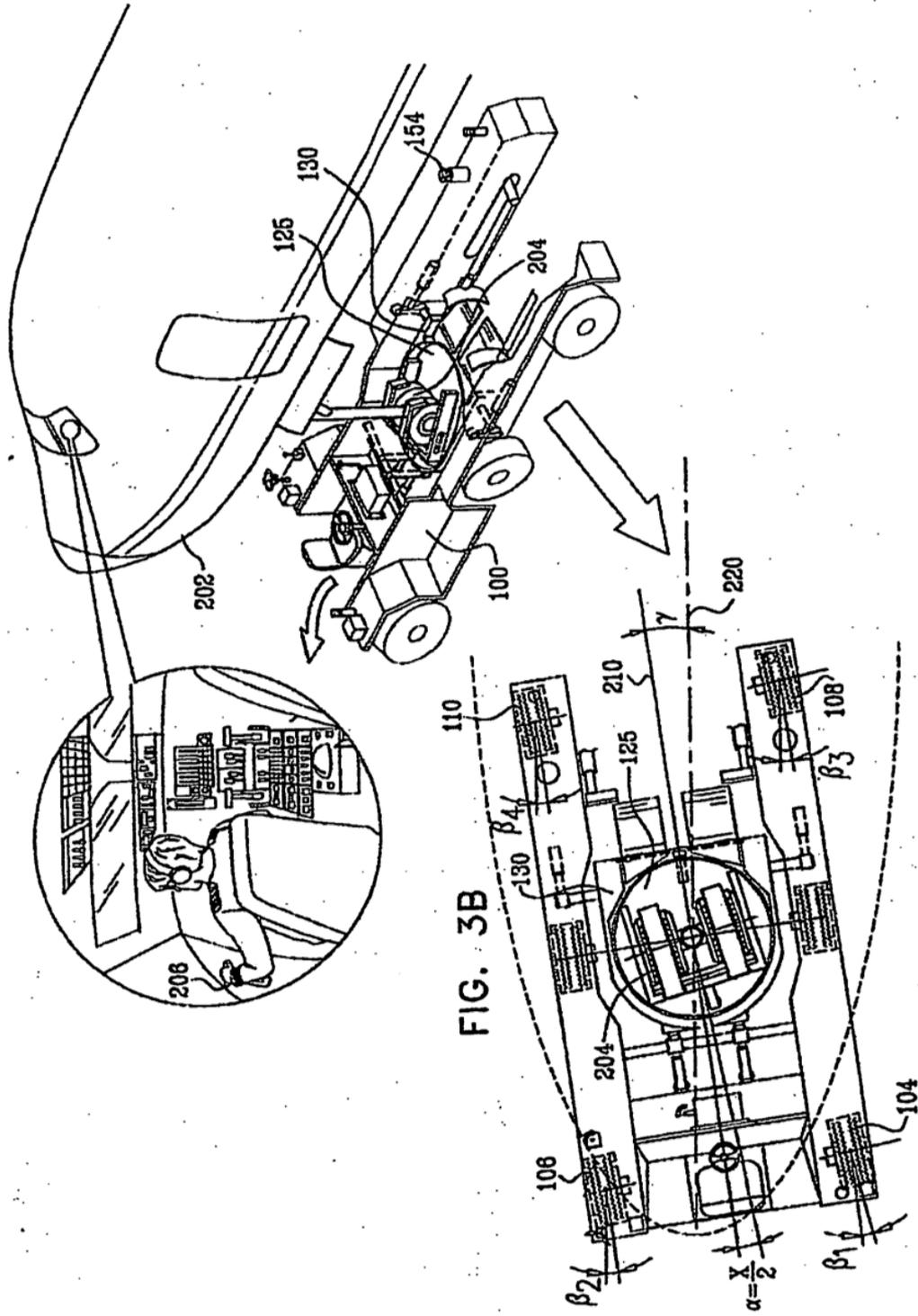


FIG. 2J





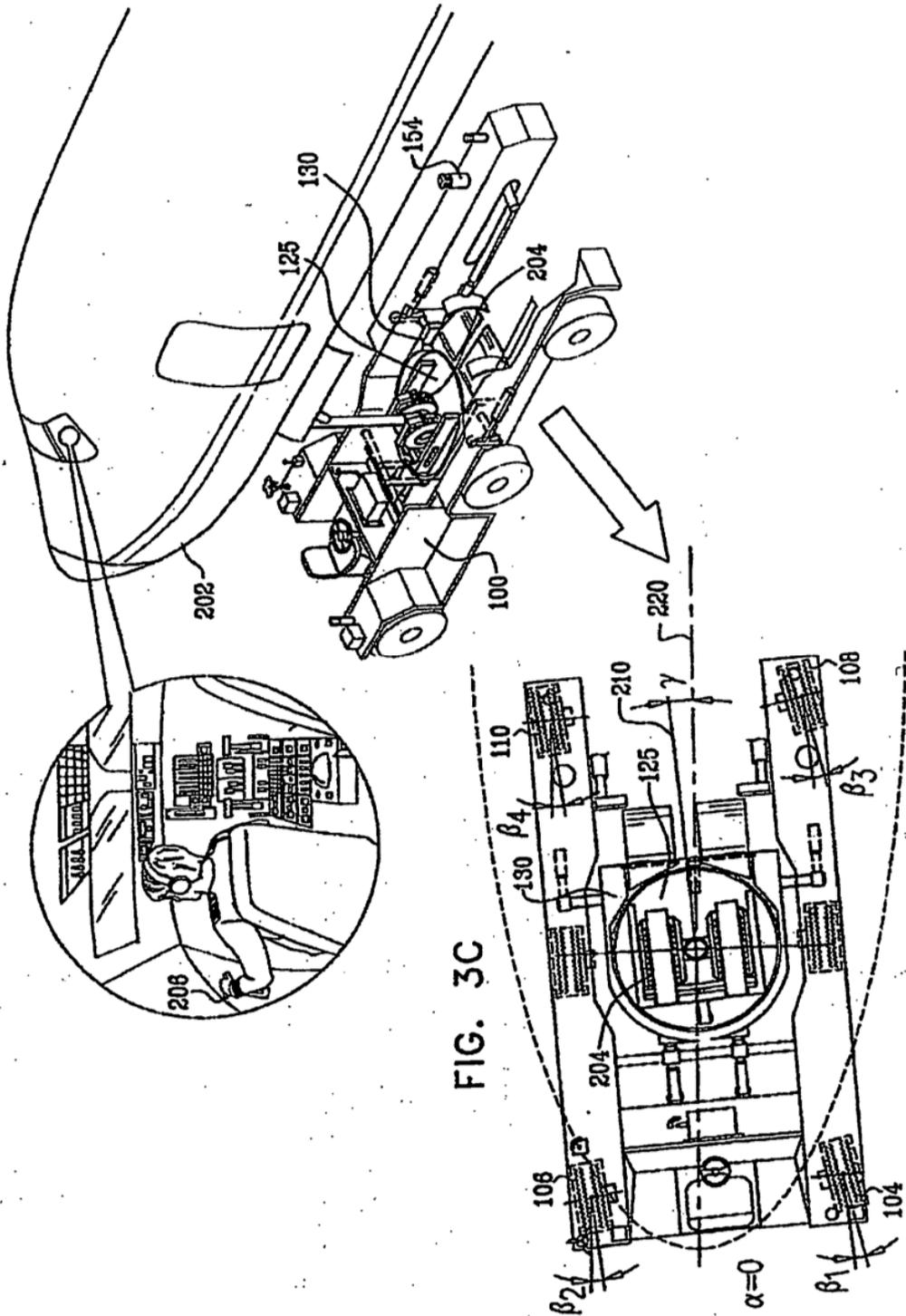


FIG. 3C

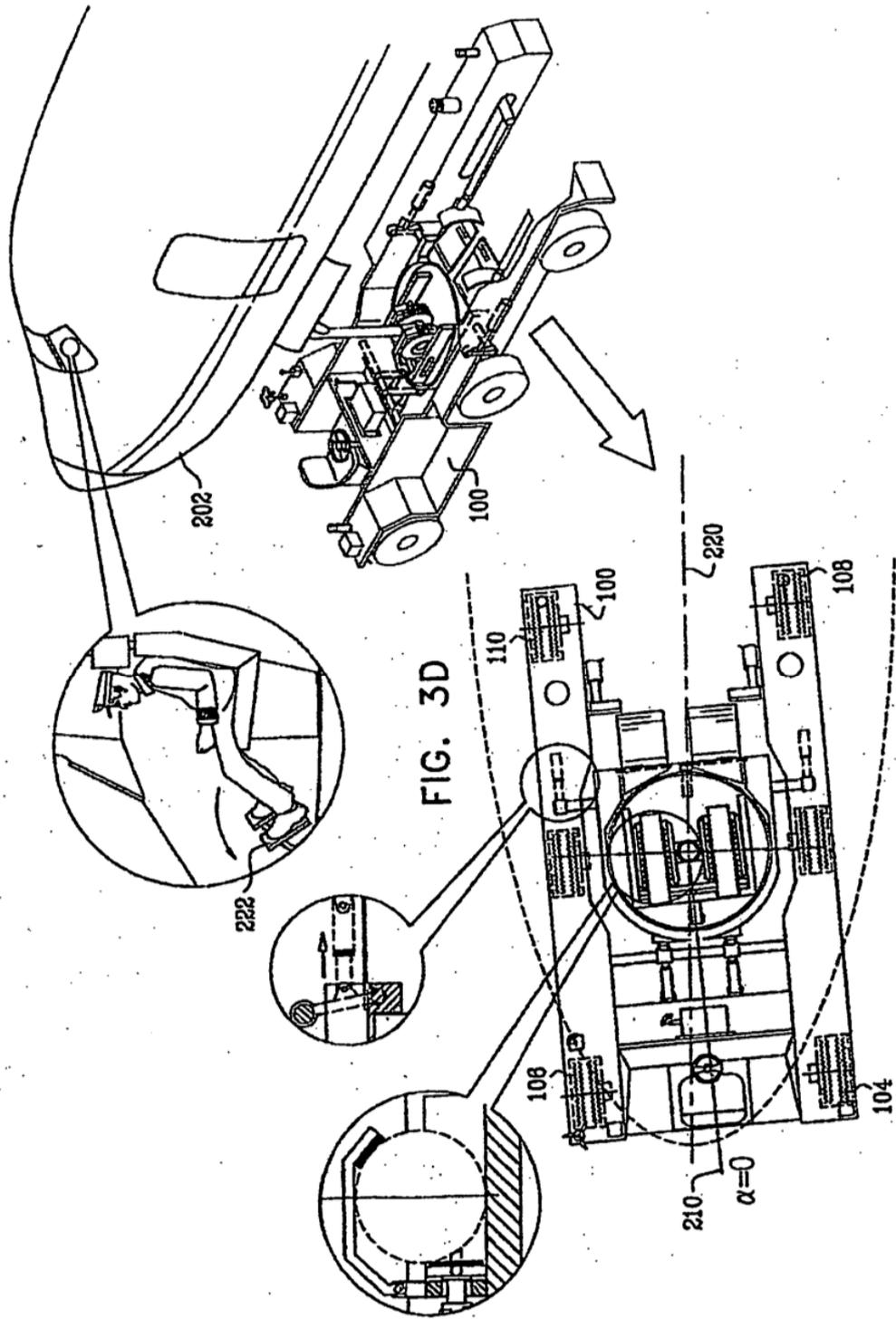
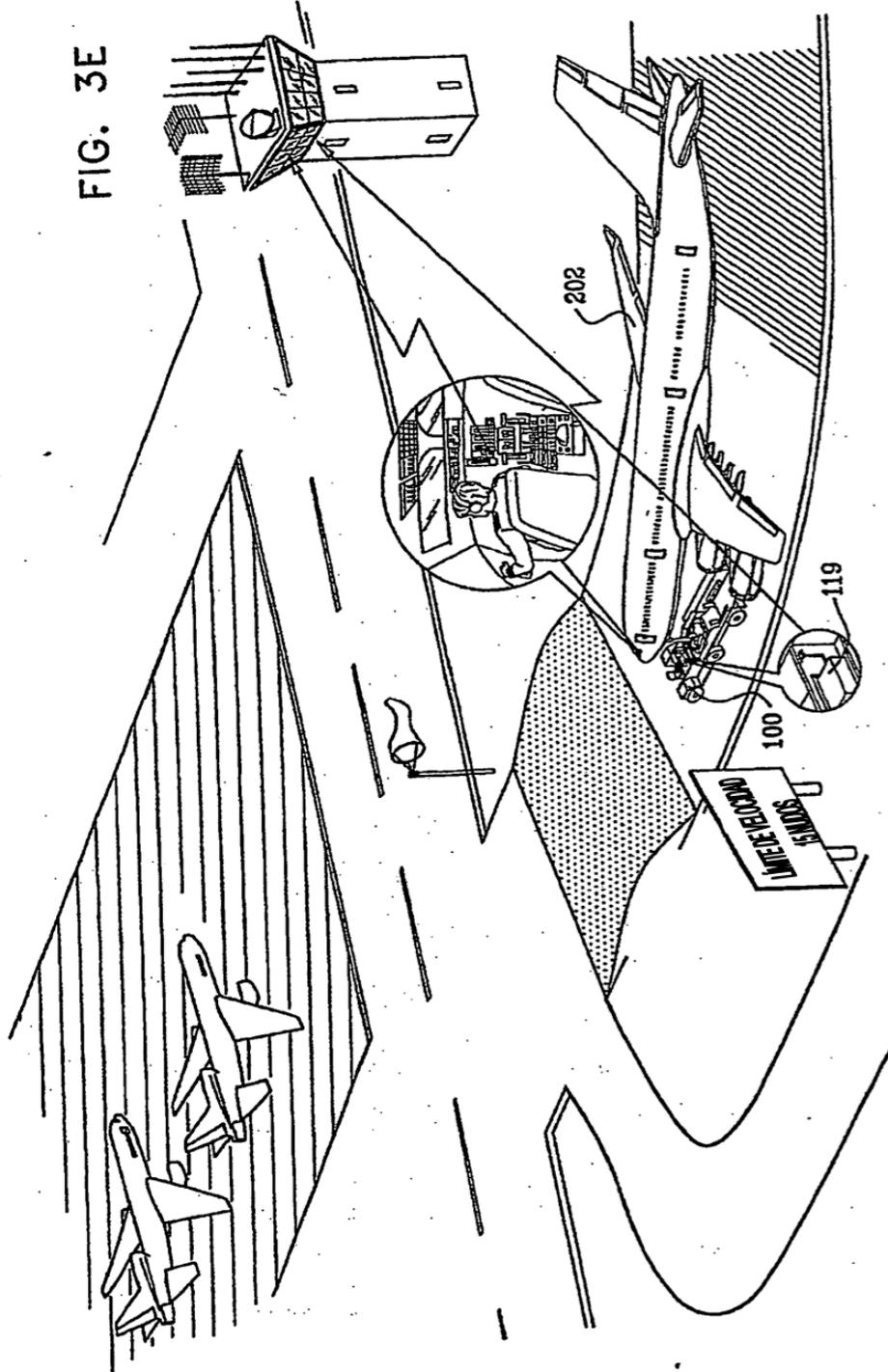
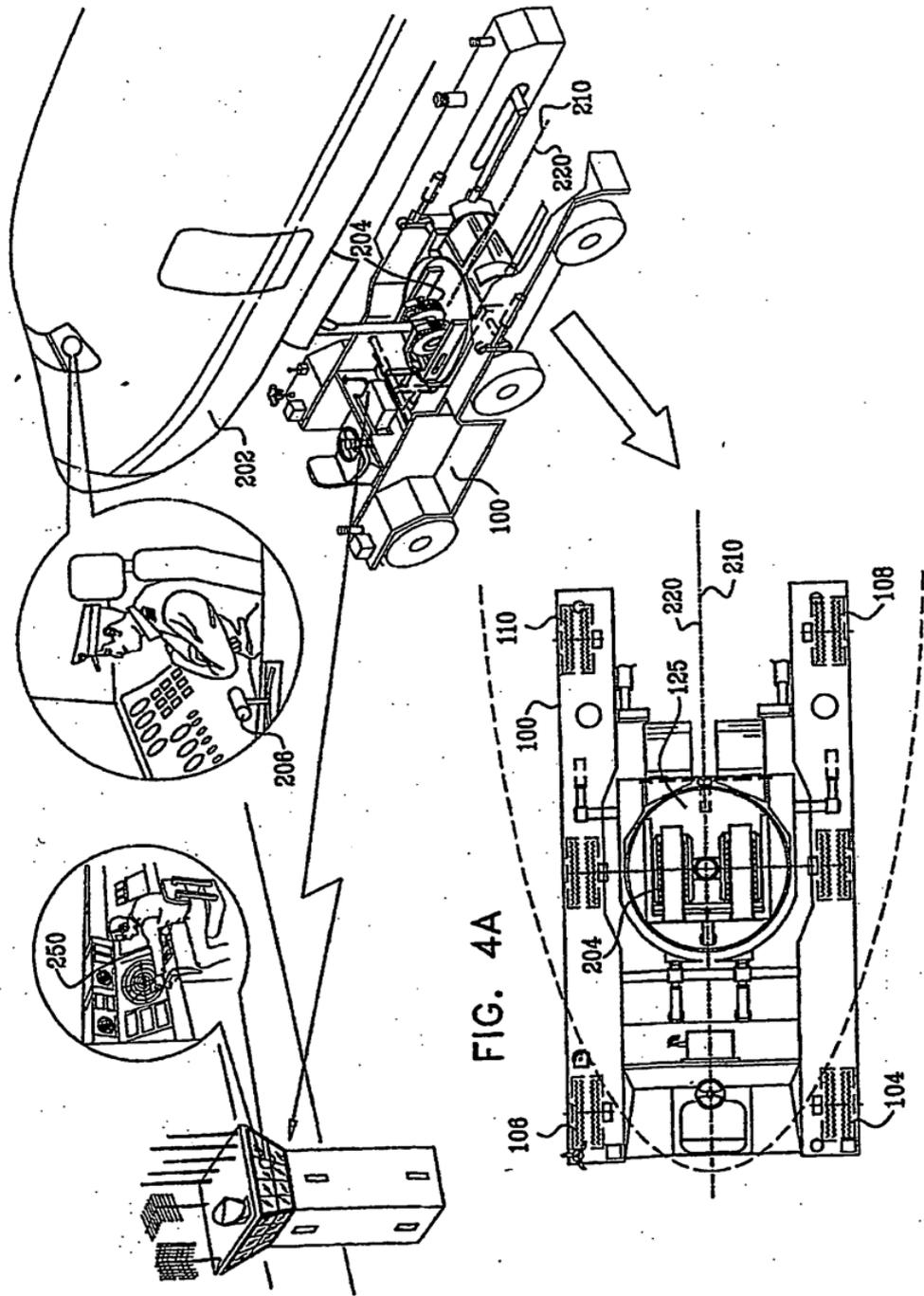
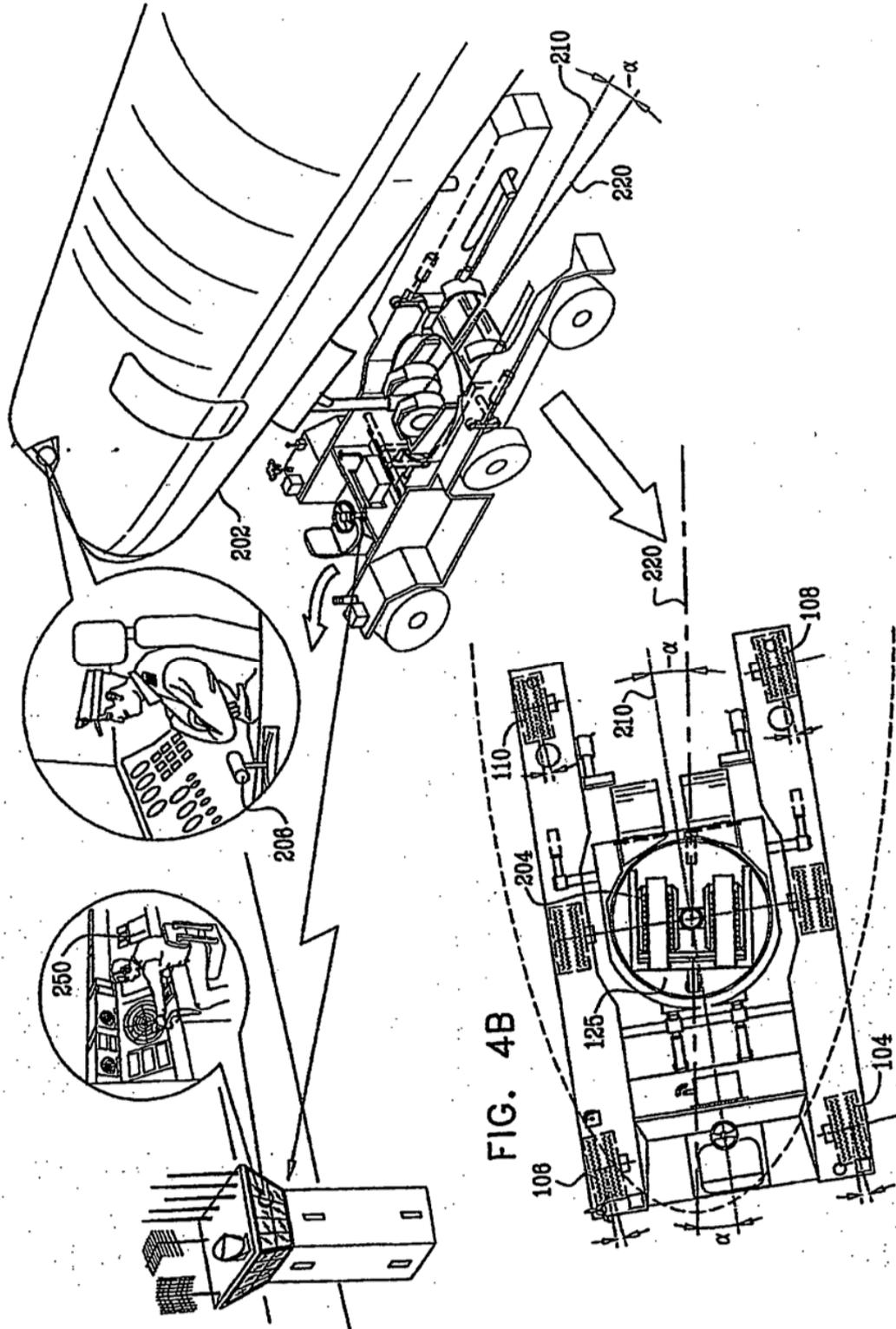


FIG. 3E







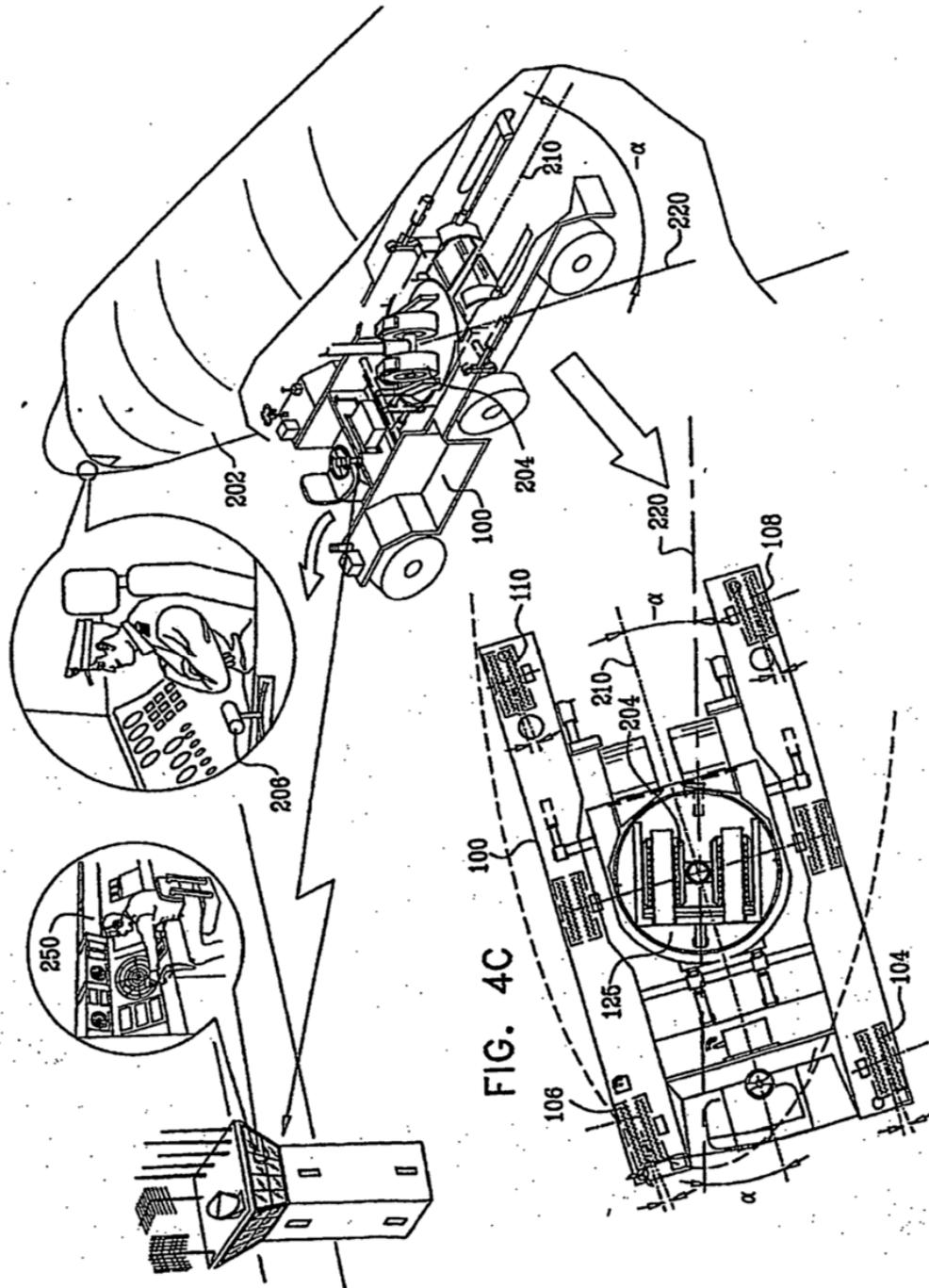
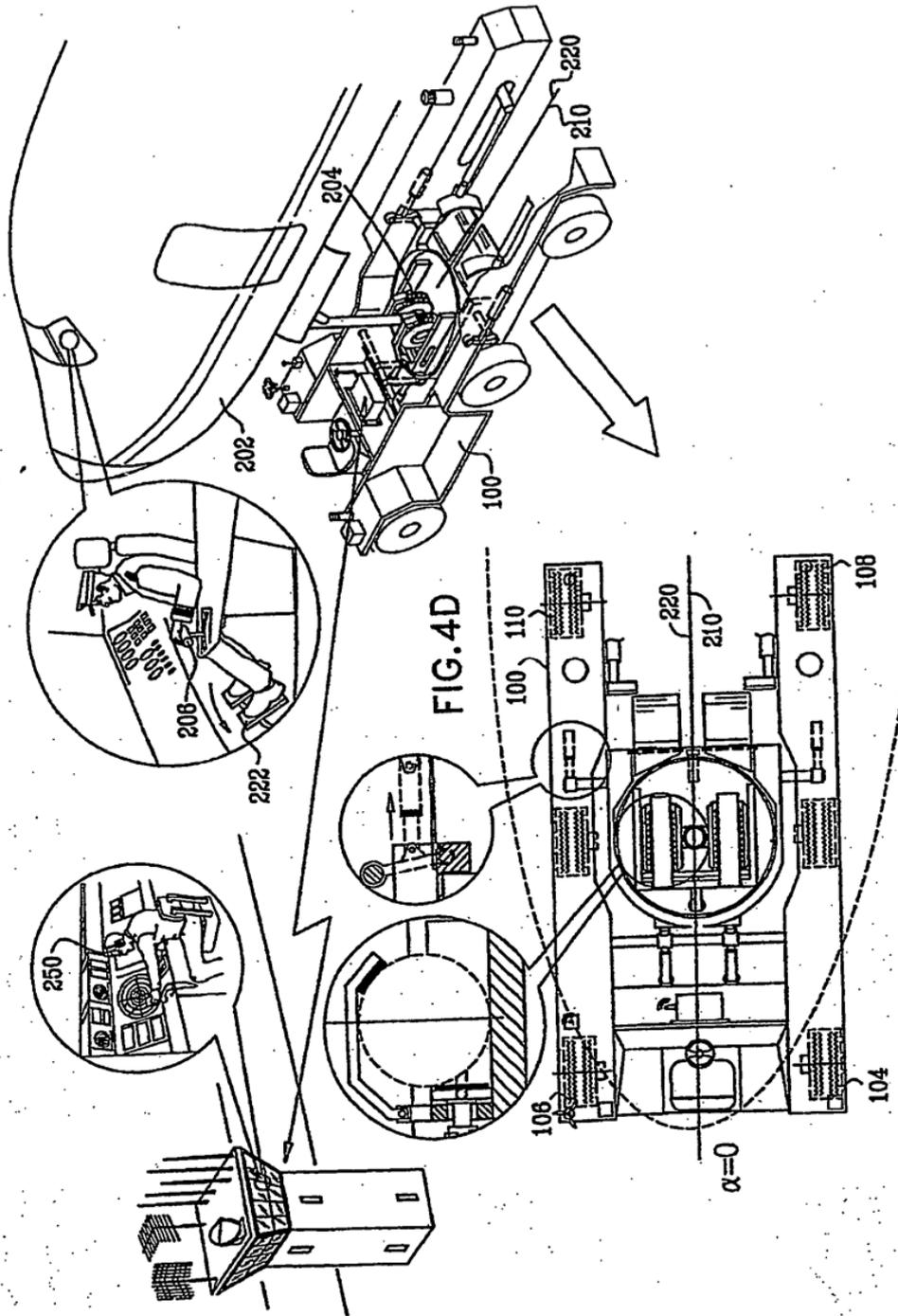


FIG. 4C



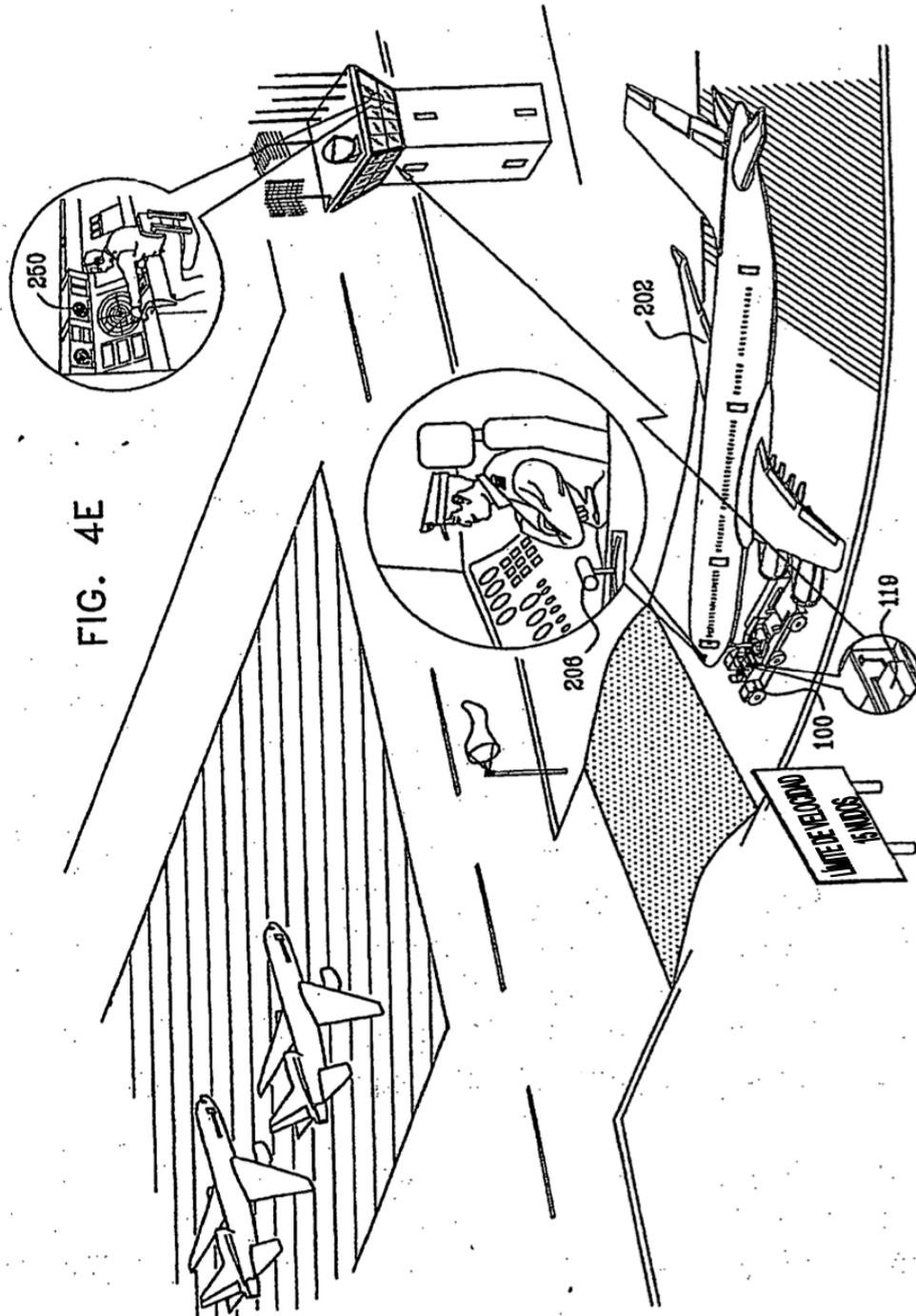
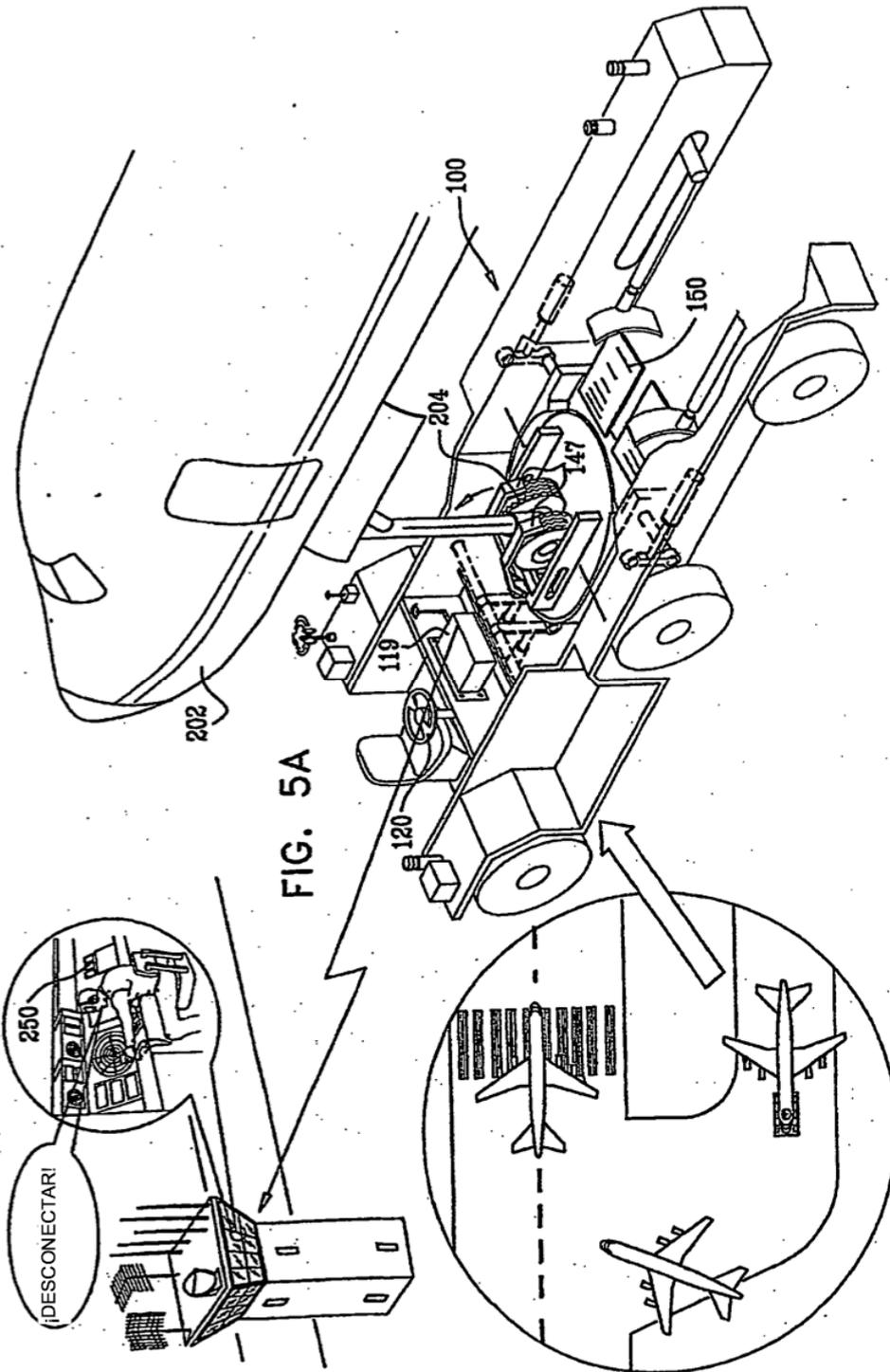
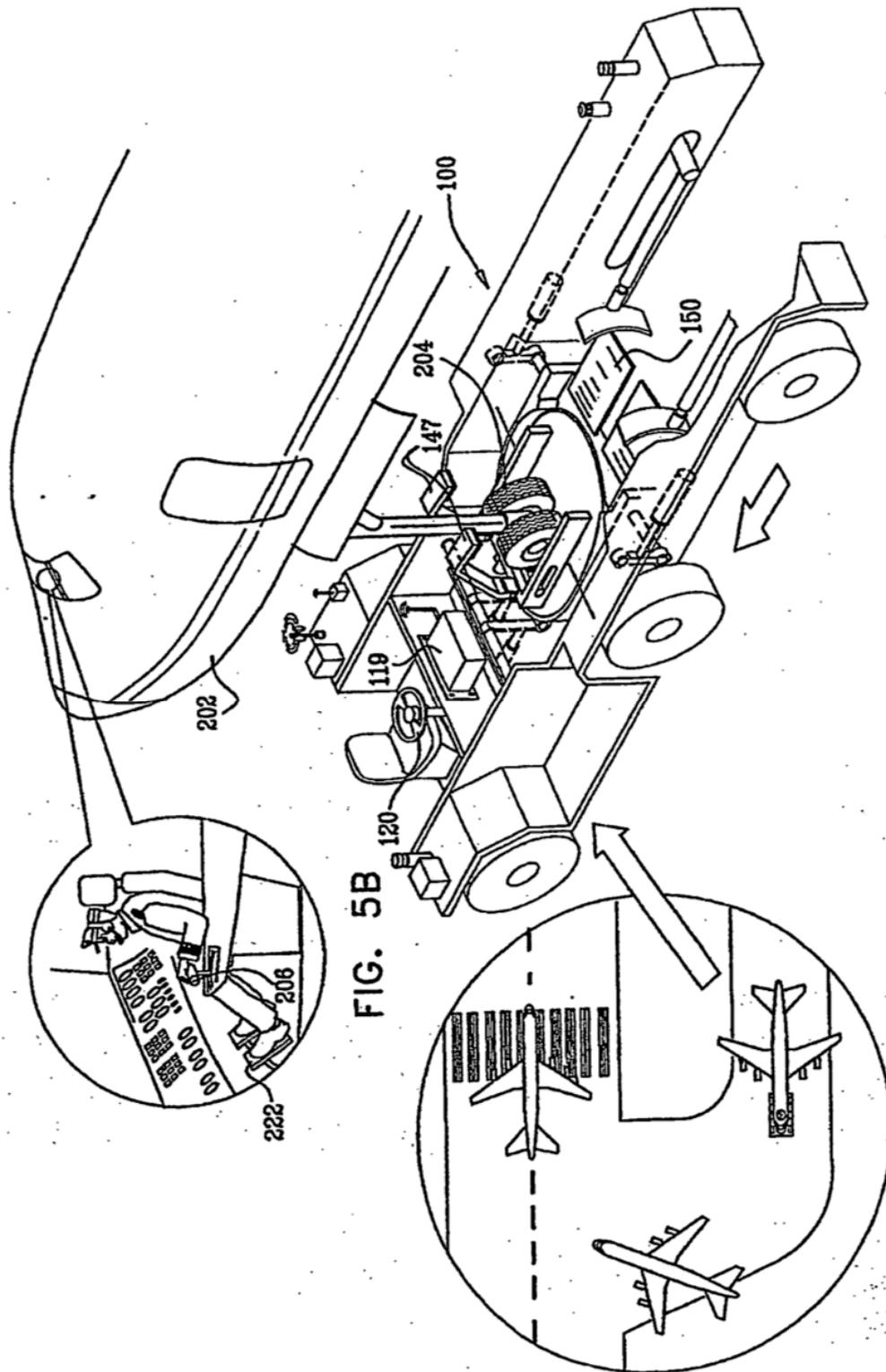
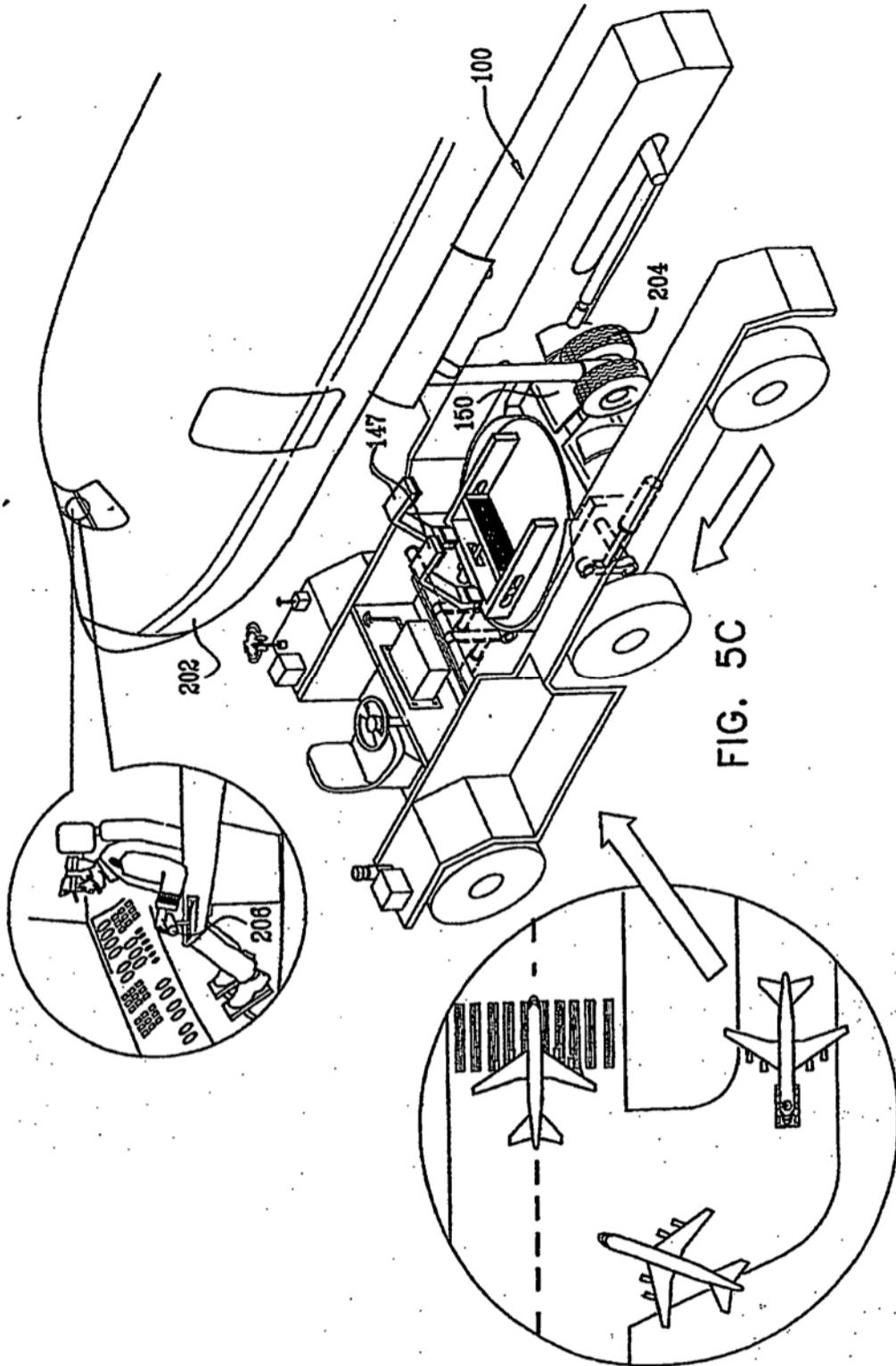
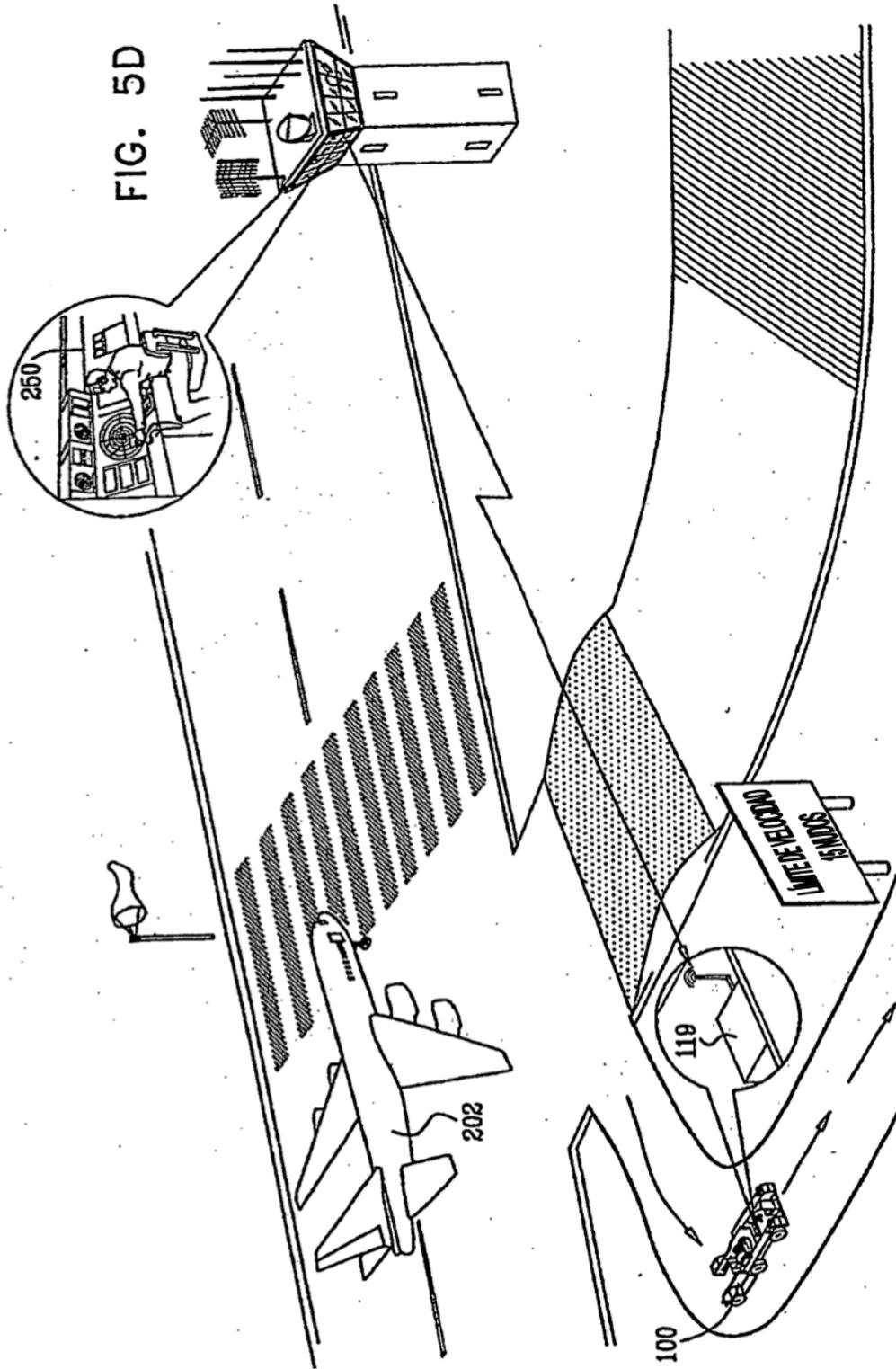


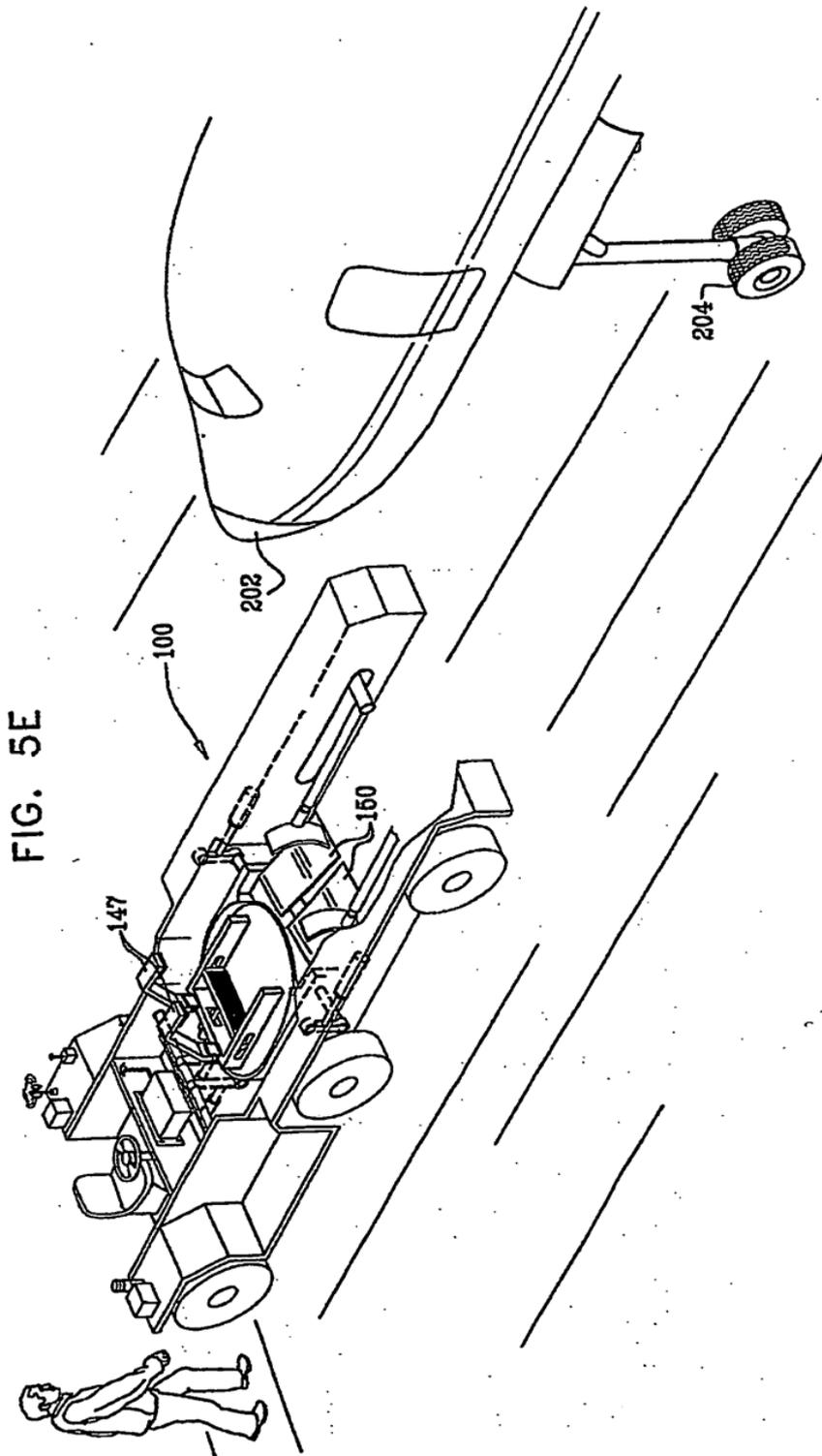
FIG. 4E





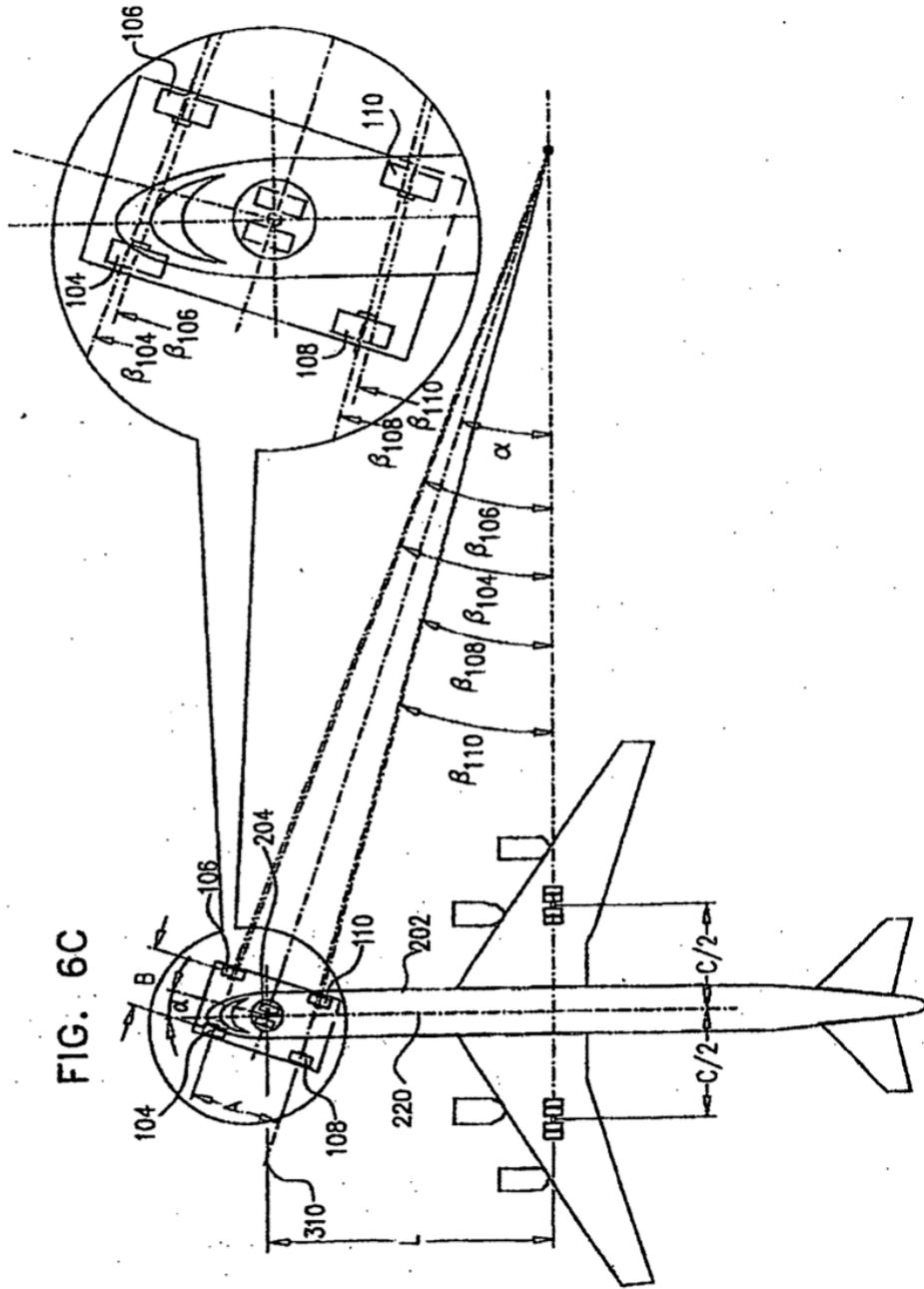












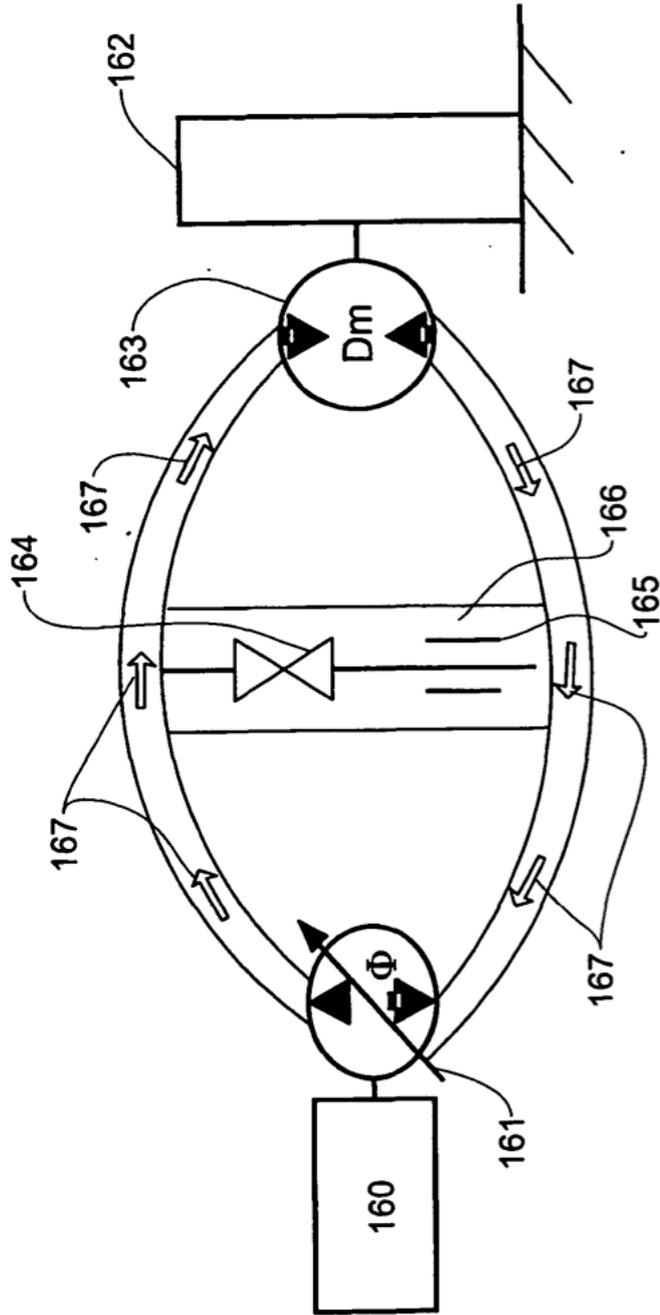


FIG. 7A

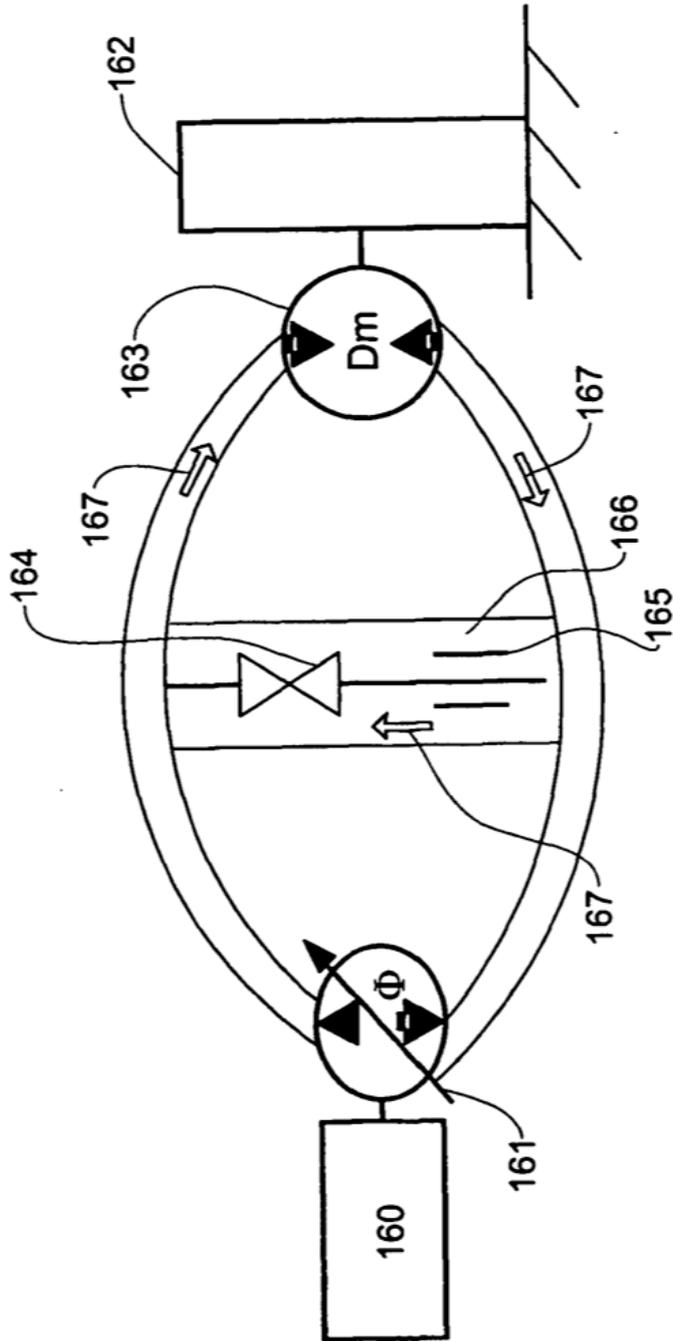


FIG. 7B

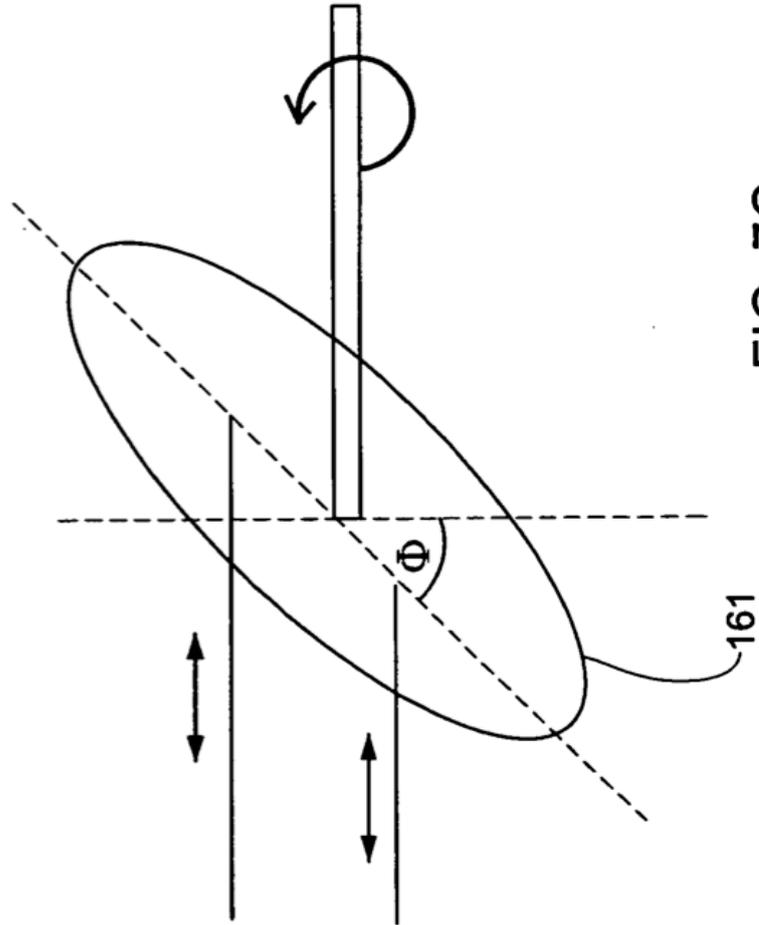


FIG. 7C

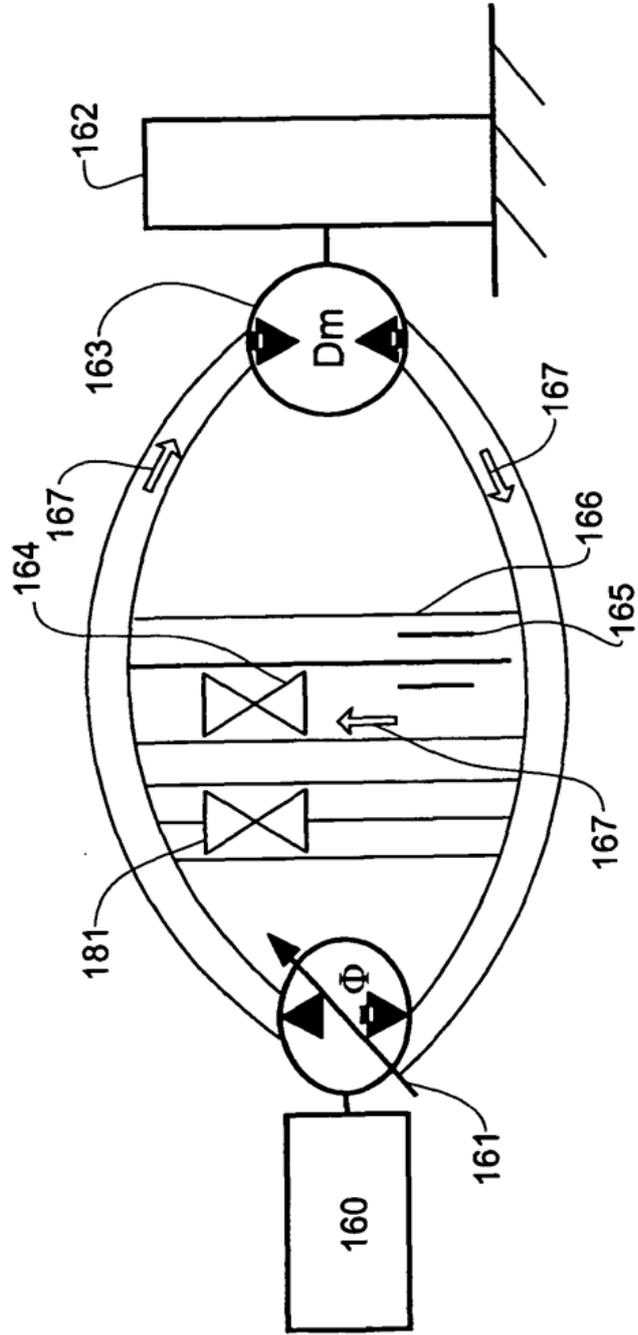


FIG. 7D

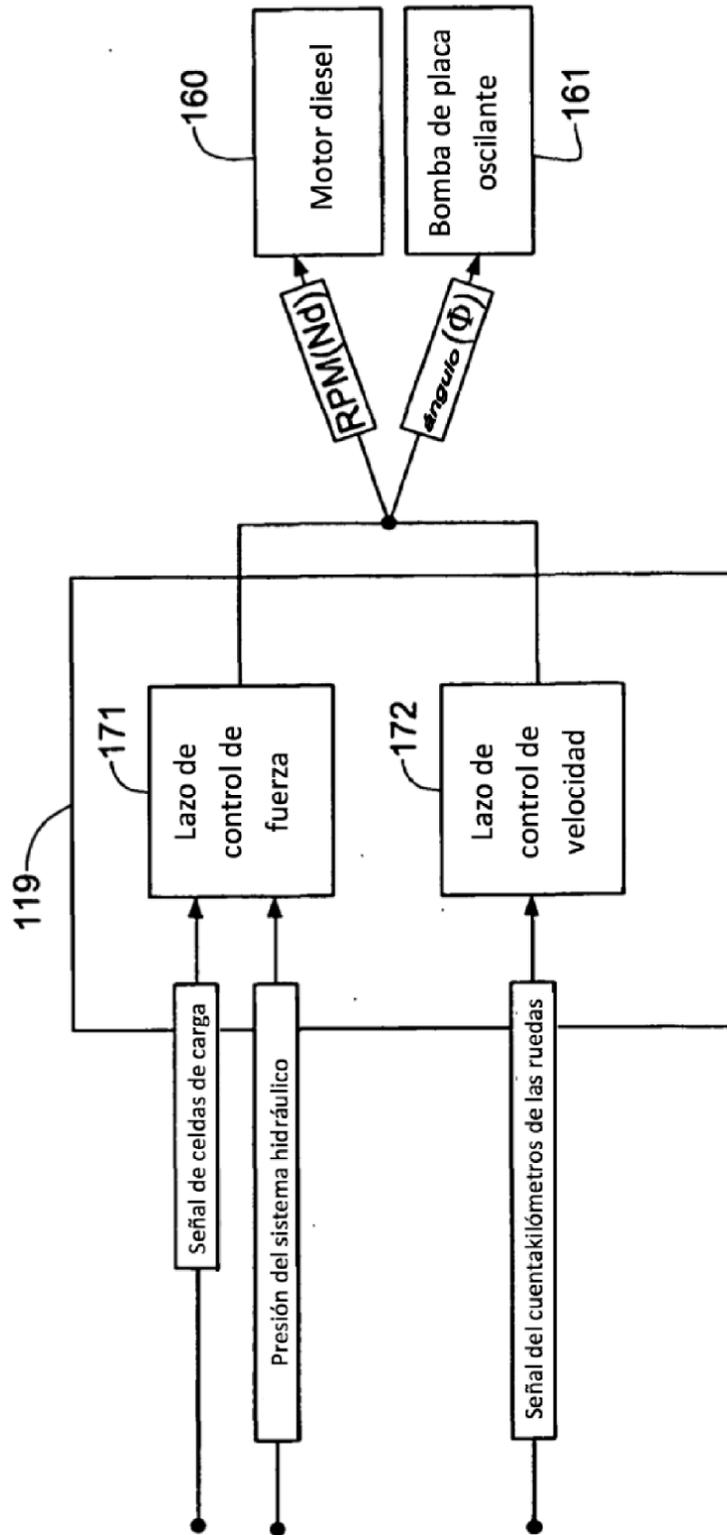


FIG. 8A

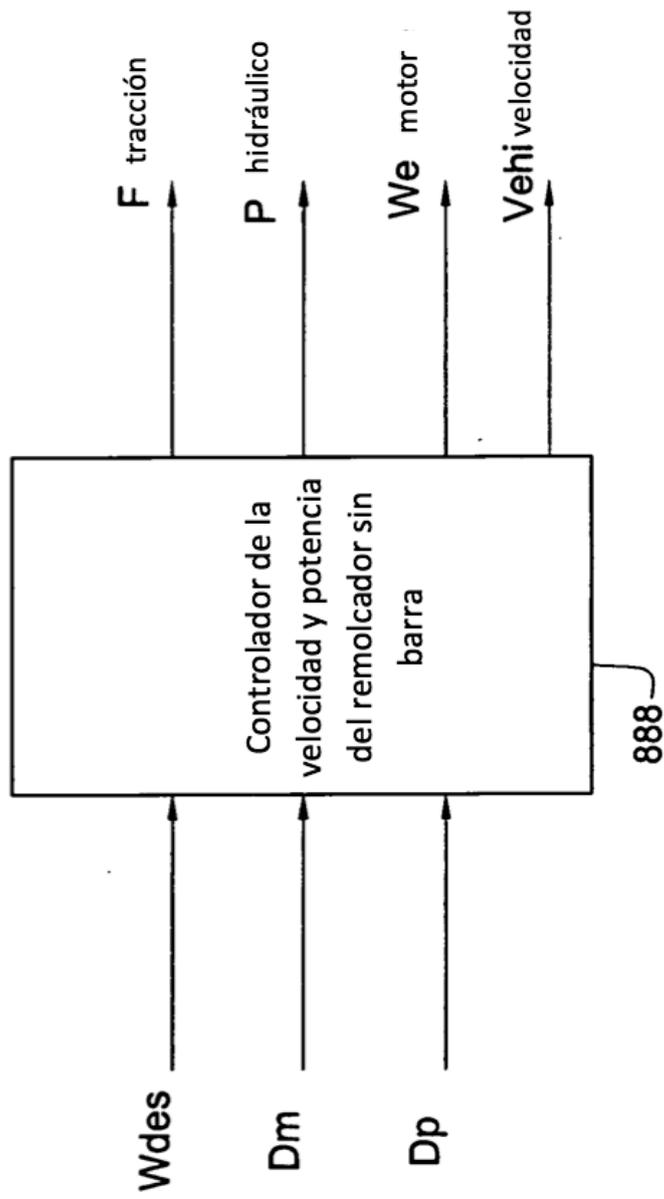
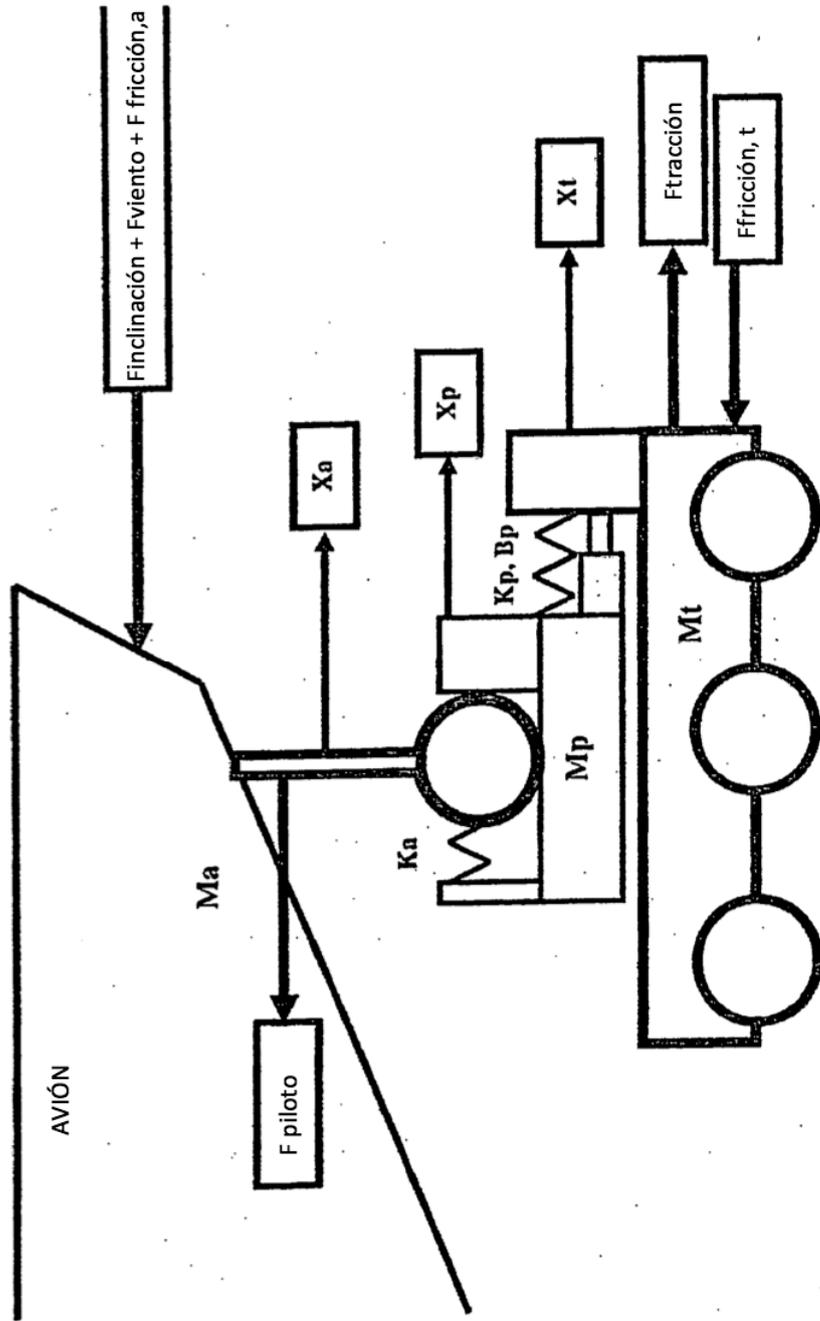


FIG. 8B

FIG. 9



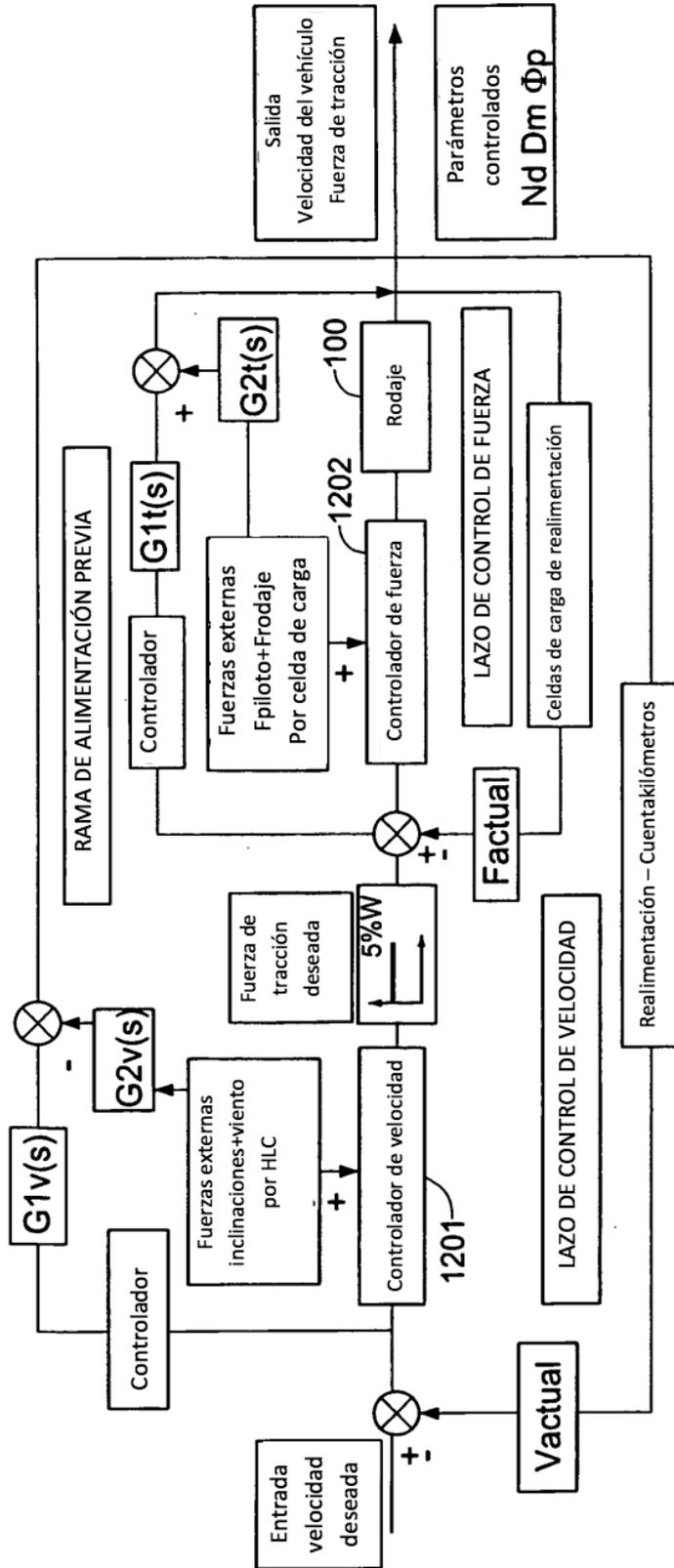


FIG. 10

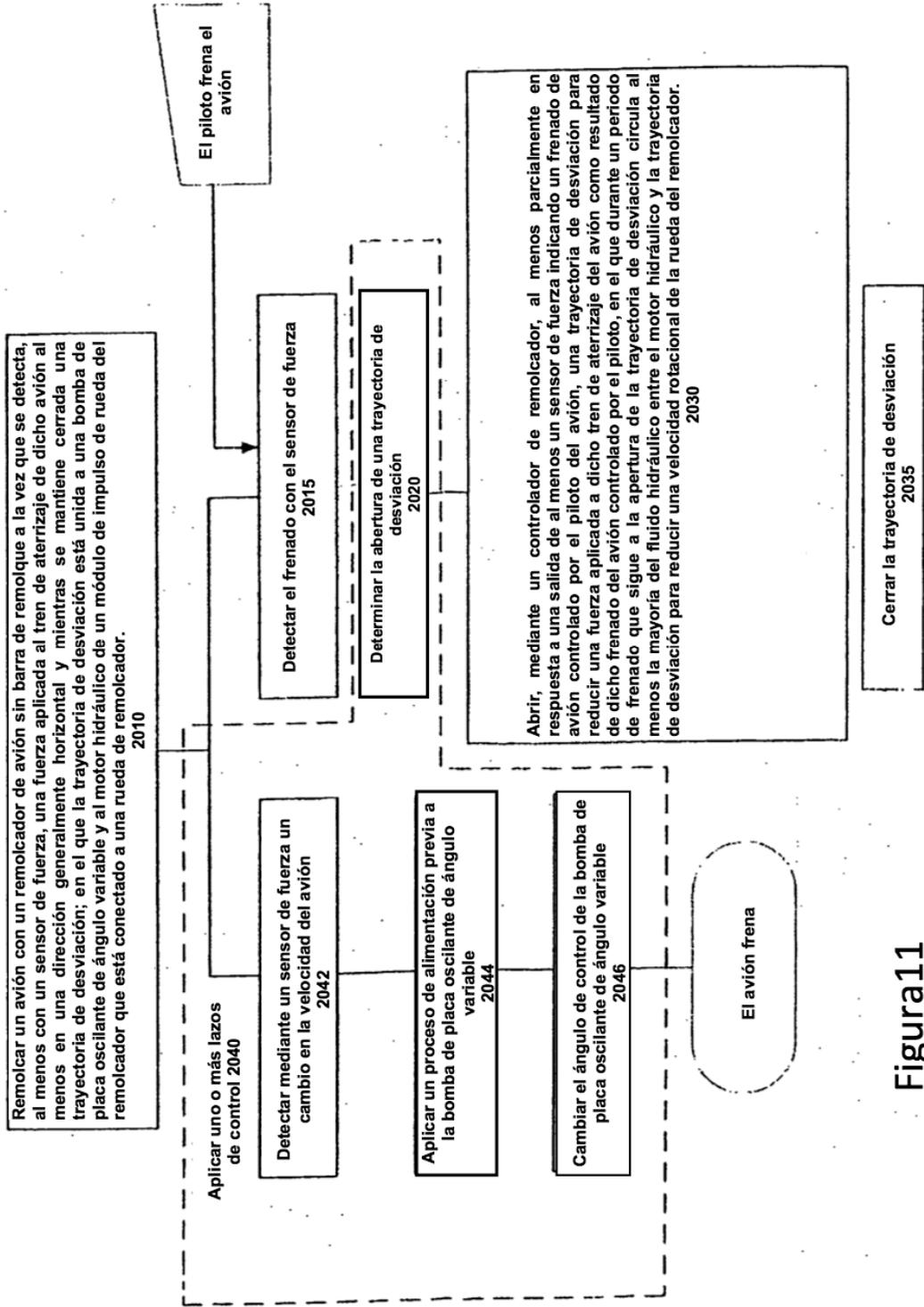


Figura11

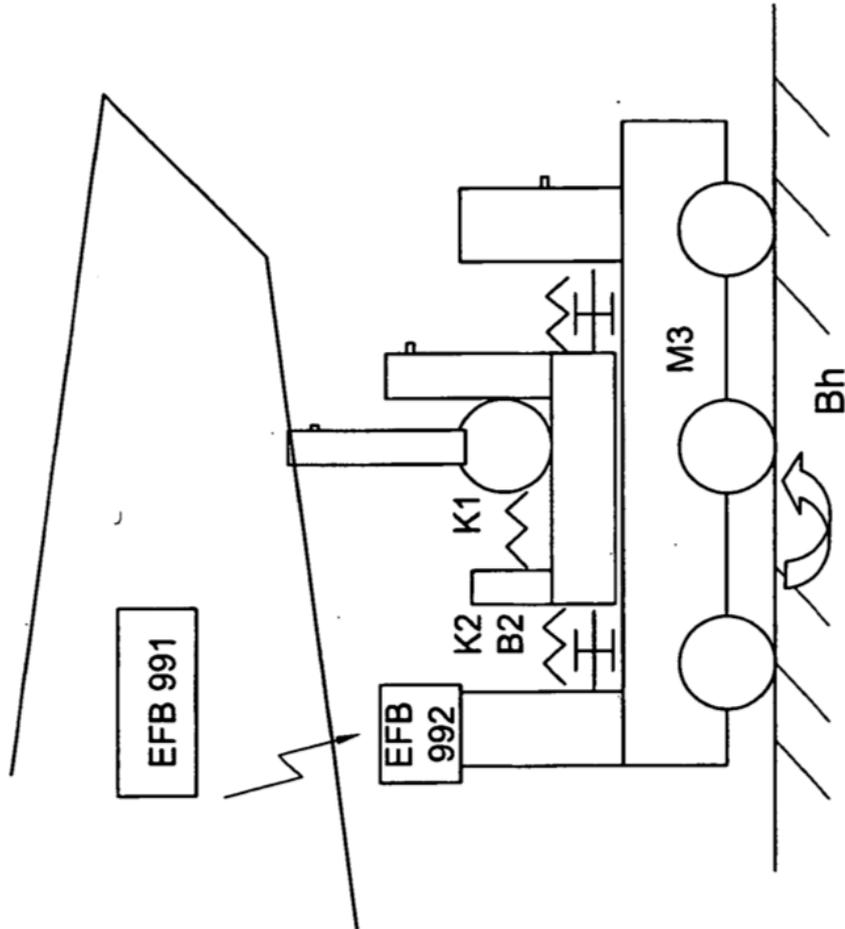


FIG. 12

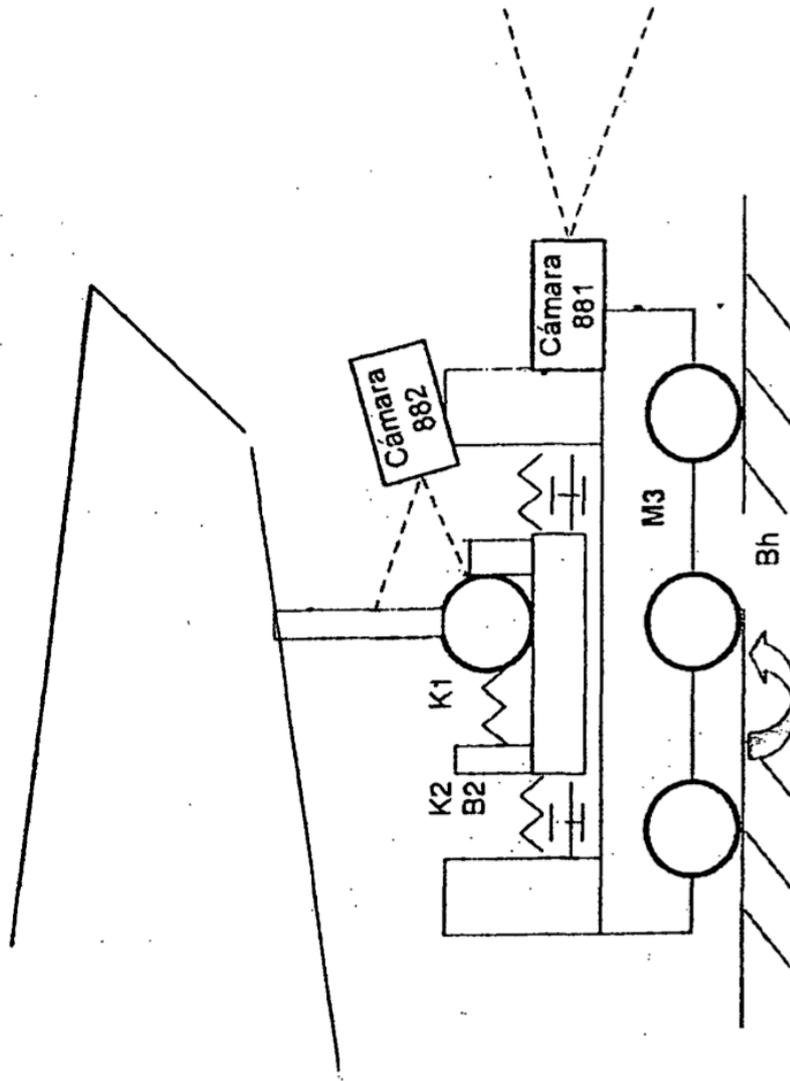


Figura 13



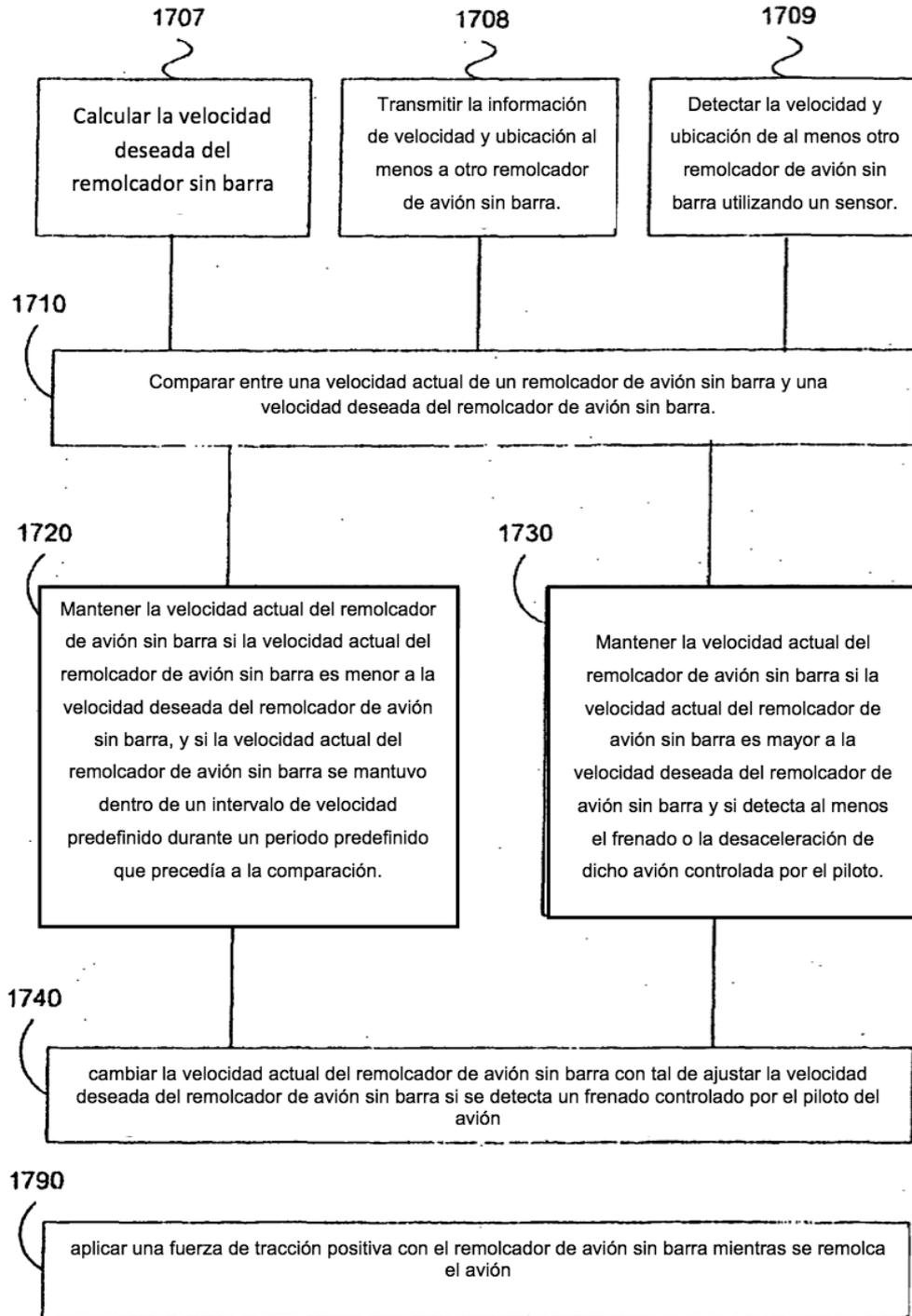


Fig.15

**1700**

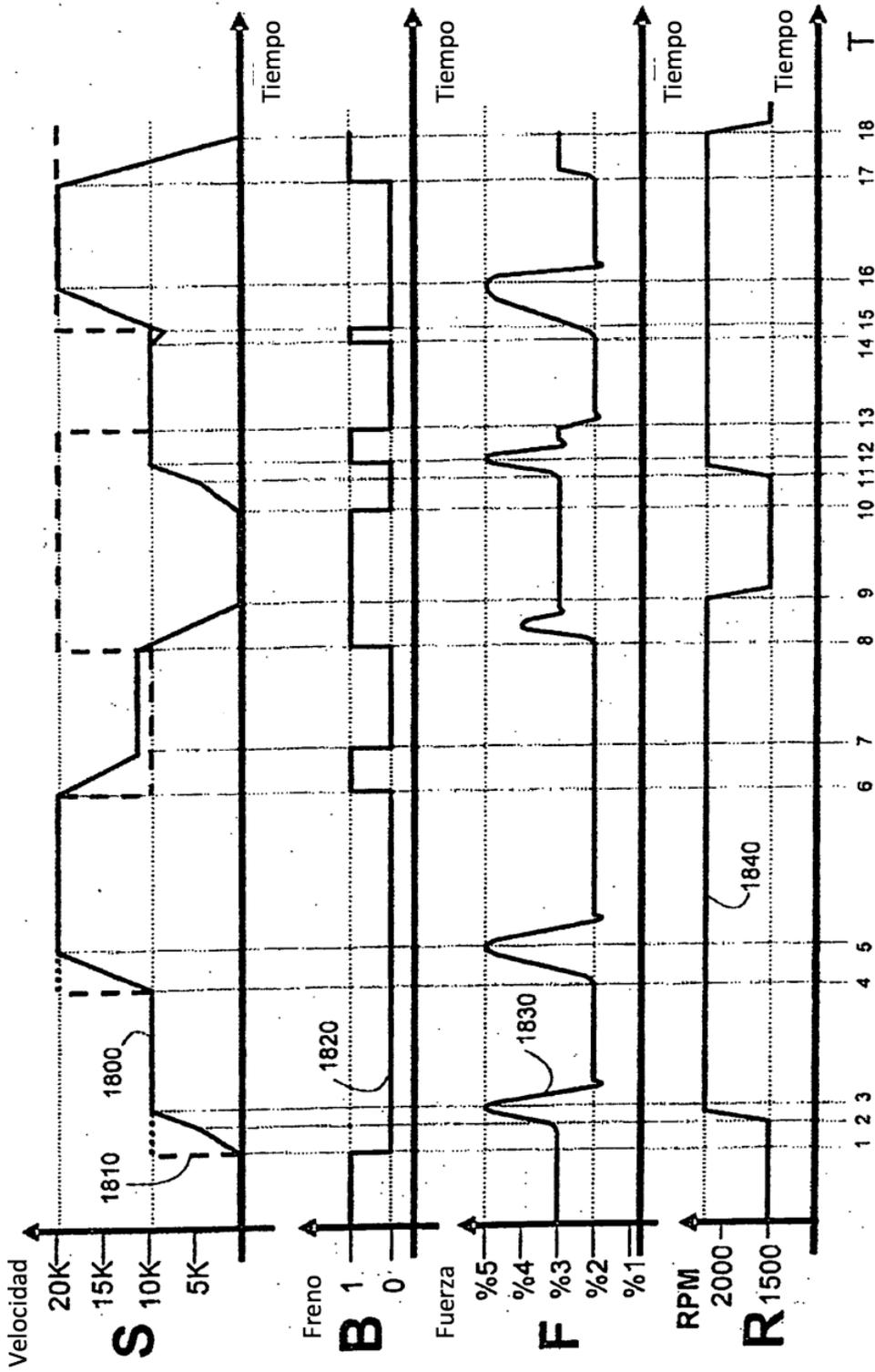


Fig.16

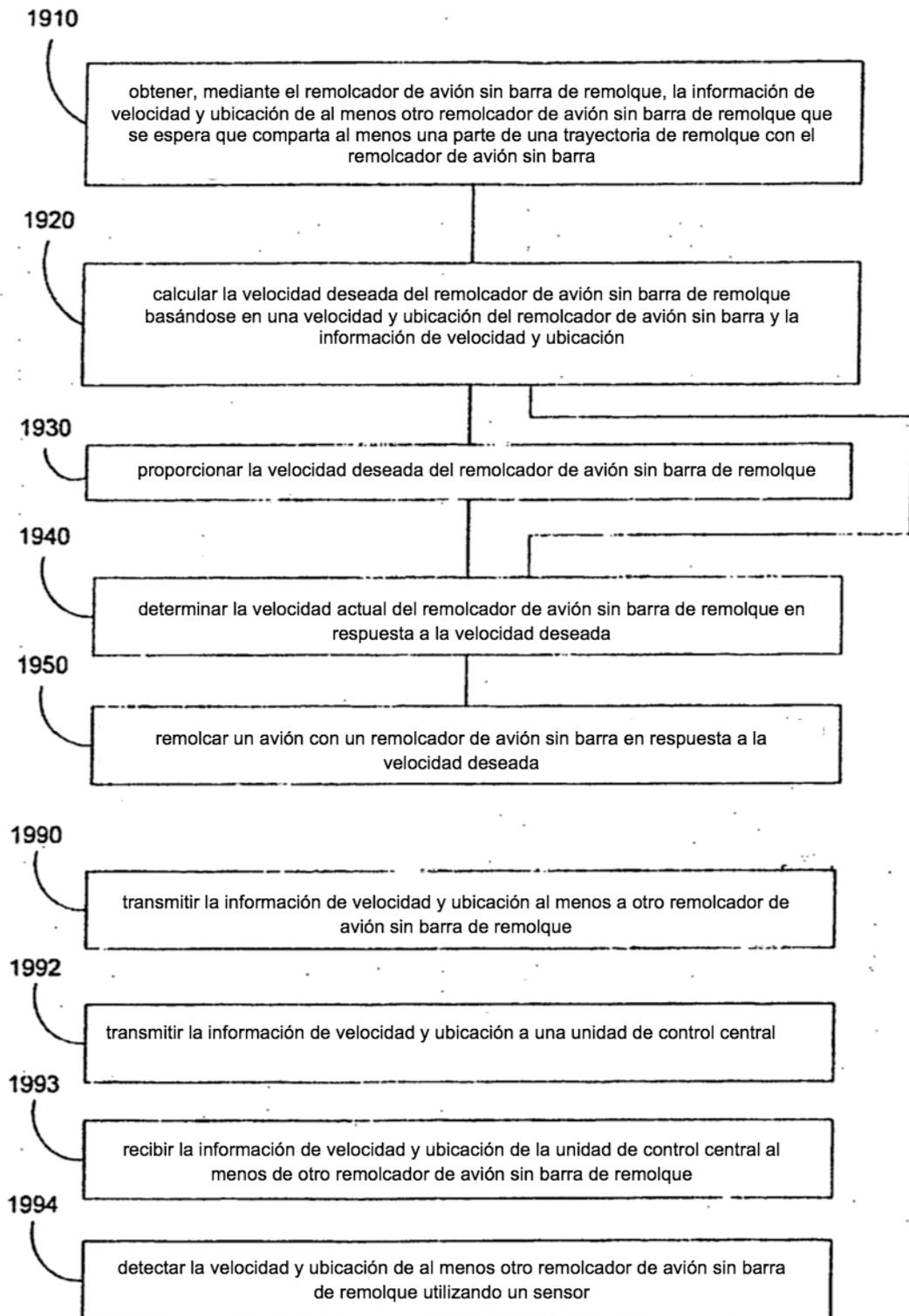


Fig.17

1900