

DISPOSITIVO DE ESTABILIDAD DE CARGA SUSPENDIDA A TRAVÉS DE UN CABLE

Esta solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente provisional de los EE. UU. núm. 62/627.920, presentada el 8 de febrero de 2018, titulada "SUSPENDED LOAD STABILITY SYSTEM THROUGH SELF POWERED AUTOMATED ELECTRIC DUCT FAN CONTROL" y que nombra a Derek Sikora y Jonathan a Chung como inventores, y de la solicitud de patente provisional de los EE. UU. núm. 62/757.414, presentada el 8 de noviembre de 2018, titulada "LOAD STABILITY SYSTEM FOR SUSPENDED LOAD CHAOTIC MOTION" y que nombra a Caleb Carr, Derek Sikora y Logan Goodrich como inventores. Las solicitudes anteriormente citadas se incorporan como referencia, en su totalidad, para todos los fines. La hoja de datos de la solicitud presentada con la presente solicitud forma parte de la presente solicitud, y todos los documentos de prioridad a que se refiere se incorporan aquí como referencia en su totalidad.

CAMPO

Esta descripción se dirige a aparatos mejorados para controlar cargas suspendidas.

ANTECEDENTES

Los helicópteros de rescate permiten un acceso rápido a pacientes heridos o aislados en mar o tierra. La mayoría de las veces, los pacientes están heridos o tienen una emergencia médica que justifica que las autoridades locales o federales autoricen el uso de una costosa operación de elevación con helicóptero. Sin embargo, durante estas operaciones las extracciones con polipasto están sujetas a vientos y otros factores externos que hacen que el polipasto de rescate gire y se balancee hacia atrás y hacia adelante. Este balanceo complica la misión, causa demoras en la atención médica y ha dado lugar a muertes tanto de los rescatistas como de los rescatados.

En las operaciones modernas de elevación con helicóptero, rescate y de carga con eslinga se presentan frecuentemente movimientos peligrosos e inestables de la persona o equipo suspendido que ponen en peligro la operación en cuestión y, lo que es más importante, a las personas involucradas. El movimiento observado es comparable a un péndulo lateral o cónico, con rotación alrededor del punto de pivote de la bisagra. Un atributo fundamental de la operabilidad del dispositivo de elevación permanece sin resolver: estabilidad fiable del

movimiento del cable colgado. El movimiento incontrolado de los cables pone en peligro vidas, pone en peligro el éxito de la misión, sacrifica las oportunidades de la misión debido a elementos ambientales, y los gastos operacionales aumentan drásticamente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una carga que se balancea suspendida desde un helicóptero y que se estabiliza mediante un aparato de estabilidad de carga suspendida (LSS, por sus siglas en inglés).

La Figura 2A ilustra una vista isométrica de un aparato de estabilidad de carga suspendida con un alojamiento similar a una caja de acuerdo con una modalidad.

La Figura 2B ilustra una vista frontal de un aparato de estabilidad de carga suspendida que incluye un módulo central hexagonal y dos brazos de propulsión de acuerdo con una modalidad.

La Figura 3 ilustra una vista en perspectiva recortada de un aparato de estabilidad de carga suspendida que muestra características estructurales de acuerdo con una modalidad.

Las Figuras 4A-4C ilustran vistas en perspectiva frontal y lateral de un aparato de estabilidad de carga suspendida que incluye un alojamiento aerodinámico de acuerdo con una modalidad.

La Figura 5 ilustra un miembro estructural central de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

Las Figuras 6A-6B ilustran dos mangas alternativas que se conectan al miembro estructural central para acoplar una carga de acuerdo con una modalidad.

Las Figuras 7A-7B ilustran el miembro estructural central acoplado a cada una de las dos mangas alternativas para acoplar una carga de acuerdo con una modalidad.

La Figura 8 ilustra una vista en perspectiva de un armazón estructural de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 9 ilustra una vista en perspectiva de componentes montados en el armazón estructural de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 10 ilustra una vista en perspectiva de componentes de un aparato de estabilidad de carga suspendida montado en el armazón estructural de acuerdo con una modalidad.

La Figura 11A ilustra una vista en perspectiva de un diseño alternativo del módulo central de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 11B ilustra una vista frontal de otro diseño alternativo del módulo central de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 12A ilustra una vista en perspectiva de un propulsor configurado para usarse en un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 12B ilustra una vista en perspectiva de un brazo de propulsión de dos propulsores de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 12C ilustra una vista en perspectiva de un miembro de soporte para el brazo de propulsión de dos propulsores de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 12D ilustra una vista isométrica de otro brazo de propulsión de dos propulsores de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

Las Figuras 13A-13C ilustran vistas en perspectiva frontal y lateral de propulsores montados en el armazón estructural de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 14 ilustra una vista en perspectiva de un aparato de estabilidad de carga suspendida que incluye sensores montados en un alojamiento aerodinámico de acuerdo con una modalidad.

La Figura 15 ilustra esquemáticamente los componentes operacionales de un aparato de estabilidad de carga suspendida que incluye una interfaz remota de acuerdo con una modalidad.

La Figura 16 ilustra una vista en perspectiva de una unidad de posición remota o nodo objetivo de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 17 ilustra una vista en perspectiva de una estación de carga para un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 18 ilustra una rutina operacional de un aparato de estabilidad de carga suspendida que incluye múltiples estados de modos o comandos de acuerdo con una modalidad.

La Figura 19 ilustra una rutina de decisión y control de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 20A ilustra una vista en perspectiva de un anillo de cable superior con luces externas indicadoras de estado de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 20B ilustra una vista superior de las luces indicadoras del estado de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 21 ilustra una captura de pantalla de una interfaz de control para un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad.

La Figura 22 ilustra un gráfico que muestra el movimiento de una carga que se balancea y el movimiento de una carga que se estabiliza mediante un aparato de estabilidad de carga suspendida.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

El enfoque general para controlar el comportamiento de una carga que se balancea es el de instalar contramedidas en la célula o manipular la misma célula. Algunas células, tal como la de un Sky Crane, tienen un dispositivo de riel instalado debajo de la cabina para mitigar el balanceo de una carga. La mayoría de los enfoques propuestos incluyen la instalación de algoritmos de eliminación automatizados en un dispositivo de aumento de estabilidad de una aeronave. De hecho, los jefes de tripulación que permanecen dentro del helicóptero durante una extracción intentarán manipular el cable empujándolo y tirándolo de la cabina, esfuerzos que tienen un efecto limitado. Todas estas medidas han resultado inadecuadas.

En varias modalidades, como se describe adicionalmente en la presente descripción, un aparato de control de estabilidad de carga suspendida aborda este problema. El aparato de estabilidad de carga (LSS, por sus siglas en inglés) de esta descripción contrarresta el movimiento de carga suspendida al ejercer una fuerza contraria desde los propulsores, tales como ventiladores de conductos eléctricos (EDF, por sus siglas en inglés) de alto rendimiento en, o cerca de, la ubicación de la carga. Por consiguiente, el LSS mejora la seguridad de la misión al aliviar completamente a los pilotos y tripulación de las responsabilidades de estabilidad de carga suspendida. Además, la cobertura de rendimiento de tales operaciones se

incrementa mediante la integración de la capacidad del LSS para controlar dinámicamente la ubicación de carga, separada del movimiento de la aeronave.

El aparato de estabilidad de carga controla el movimiento de una carga suspendida a través de un aparato autoalimentado, automatizado, desmontable en el propio cable entre el aparato de elevación (es decir, helicóptero) y la carga externa. El aparato es independiente de la plataforma de la cual se suspende la carga (p. ej., las características de un helicóptero de "entrenamiento"), ya que permitirá determinar, independientemente, las dinámicas de vuelo necesarias para estabilizar la carga. Esto permite la adopción generalizada del aparato, independientemente del tipo de aeronave, lo que reduce los costos y mitiga los riesgos de la solución.

El aparato de estabilidad de carga puede proporcionar beneficios en la búsqueda y rescate (SAR, por sus siglas en inglés) de helicópteros y las operaciones de carga con eslinga, helicópteros de incendios forestales, operaciones de grúa en plataformas de petróleo, buques de apoyo naval, operaciones de carga con eslinga basadas en la construcción, aplicaciones de perforación en aguas profundas, control de naves espaciales, extinción de incendios por servicios civiles.

Ahora se hará referencia en detalle a la descripción de las modalidades, tal como se ilustra en las figuras. Si bien las modalidades se describen en relación con las figuras y descripciones relacionadas, no es la intención limitar el alcance de las modalidades descritas en la presente descripción. Por el contrario, la intención es abarcar todas las alternativas, modificaciones y equivalentes. En modalidades alternativas, los aparatos adicionales o combinaciones de aparatos ilustrados pueden añadirse a, o combinarse, sin limitar el alcance a las modalidades descritas en la presente descripción. Por ejemplo, las modalidades descritas más abajo se describen, principalmente, en el contexto de un helicóptero de carga con eslinga u operación de búsqueda y rescate. Sin embargo, estas modalidades son ejemplos ilustrativos y de ninguna manera limitan la tecnología descrita para cualquier aplicación o plataforma particular.

Las frases "en una modalidad", "en varias modalidades", "en algunas modalidades" y lo similar se usan repetidamente. Tales frases no se refieren necesariamente a la misma modalidad. Los términos "que comprende", "que tiene" y "que incluye" son sinónimos, a menos que el contexto indique lo contrario. Como se usa en esta especificación y en las

reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una" y "el" o "la" incluyen los referentes plurales a menos que el contenido indique claramente lo contrario. Cabe señalar también que el término "o" se emplea generalmente en su sentido que incluye "y/o", a menos que el contenido indique claramente lo contrario.

La **Figura 1** ilustra esquemáticamente una carga que se balancea suspendida desde un helicóptero 140 y que se estabiliza mediante un aparato de estabilidad de carga suspendida (LSS) 110. De la plataforma del helicóptero de entrenamiento 140 se suspende una persona en un cable 120 desde un punto 130. Sin el LSS 110, el cable y la persona suspendida podrán balancearse 150 lateralmente y/o en un movimiento cónico. Con el LSS 110, el balanceo descontrolado se contrarresta y elimina, de manera que la persona puede ser entregada en la ubicación o punto deseado de interés 160.

El LSS puede requerir una variedad de factores de forma. Las Figuras 1, 2A-2B, 3 y 4A-4C ilustran varios arreglos y diseños de alojamiento diferentes. Cada aparato ilustrado usa dos pares de propulsores unidireccionales. En otras modalidades, un aparato de estabilidad de carga podría usar propulsores bidireccionales en diferentes números o arreglos. Sin embargo, no es necesario mostrar tales detalles de implementación para describir las modalidades ilustrativas.

La **Figura 2A** ilustra una vista isométrica 200 de un aparato de estabilidad de carga suspendida con un alojamiento 210 similar a una caja de acuerdo con una modalidad. El aparato 210 está completamente contenido dentro de un alojamiento similar a una caja, permitiendo el acceso abierto solo para los propulsores, cable y accesorios de carga, y nodos de carga. Si bien el alojamiento rectangular del aparato 210 no es especialmente aerodinámico, puede contener y proteger un volumen cúbico mayor que el de otros diseños. El mayor volumen interno útil puede permitir una mayor capacidad de energía (p. ej., un mayor número de baterías o de otros medios de suministro de energía), que permite que el aparato 210 proporcione propulsores más potentes y/o una mayor capacidad operativa antes de la recarga o repostaje.

La **Figura 2B** ilustra una vista frontal 250 de un aparato de estabilidad de carga suspendida 260 que incluye un módulo central hexagonal y dos brazos de propulsión de acuerdo con una modalidad. El aparato 260 proporciona un mejor perfil aerodinámico en comparación con el aparato 210 de la Figura 2A. El aparato 260 también ofrece un

almacenamiento o estiba más compacta, y un mantenimiento más sencillo, lo que permite que ambos brazos de propulsión sean extraíbles. La Figura 11B de más abajo ilustra el aparato 260 con sus brazos de propulsión extraídos, y las Figuras 12B-12C ilustran los brazos de propulsión extraíbles.

La **Figura 3** ilustra una vista en perspectiva recortada 300 de un aparato de estabilidad de carga suspendida 310 que muestra características estructurales de acuerdo con una modalidad. El aparato 310 se compone de un armazón interno y la cubierta externa. La cubierta externa es de material liviano como fibra de carbono que rodea el armazón interno. El armazón está hecho de una aleación ligera mecanizada. El alojamiento transparente o recortado de la vista 300 muestra diversos componentes internos y elementos estructurales. Los elementos estructurales incluyen una barra de caja estructural horizontal que se conecta a un brazo en forma de C que soporta propulsores de ventiladores con conductos eléctricos por encima y por debajo de la barra de caja estructural horizontal. Los brazos en forma de C son sensores redondos, similares a los que se describen más abajo con referencia a la Figura 14. Es, además, prominentemente visible en la oscuridad la forma rectangular de una batería con cables de alimentación conectados para alimentar los propulsores de ventiladores con conductos eléctricos.

En varias modalidades, el LSS puede alimentarse mediante una combinación de energía de a bordo y remota. En muchos entornos, toda la energía para el LSS se mantiene a bordo, permitiendo una operación totalmente autónoma sin dependencia de la disponibilidad de fuentes de alimentación o medios de suministro externos. En algunas situaciones, una plataforma de la que se suspende el LSS, tal como un helicóptero o grúa, puede proporcionar la energía al LSS a través de una línea que extiende hacia abajo por el cable colgado al LSS. En algunas otras situaciones, la plataforma puede proporcionar energía al LSS, que porta una fuente de energía o reserva de energía más pequeña a bordo para uso intermitente.

Las **Figuras 4A-4C** ilustran vistas en perspectiva frontal y lateral de un aparato de estabilidad de carga suspendida 410 que incluye un alojamiento aerodinámico 420 de acuerdo con una modalidad. La Figura 4A ilustra una vista en perspectiva 400, la Figura 4B ilustra una vista frontal 450 y la Figura 4C ilustra una vista lateral 475.

El alojamiento 420 puede construirse de cualquier material adecuado, tal como metal, plástico, plástico reforzado de fibra de vidrio o fibra de carbono. El perfil delgado y

aerodinámico del alojamiento ilustrado 420 proporciona una resistencia al viento mínima, una longitud de barra central corta, una eficiencia mejorada para los propulsores, una proyección suficiente para proteger o desviar obstáculos y un fácil acceso para el mantenimiento del LSS. El alojamiento puede permitir el acceso en el espacio interno del LSS a través de una escotilla sellada o uno o más paneles extraíbles, para permitir el mantenimiento y la inspección.

Las características adicionales y la construcción del LSS 410 se describen en las siguientes figuras.

La vista 500 de la **Figura 5** ilustra un miembro estructural central 510 del aparato de estabilidad de carga suspendida 410 de acuerdo con una modalidad. El elemento estructural 510 actúa como la principal barra de tensión que lleva la carga. Por lo tanto, debe construirse de manera tan fuerte como el cable al que está acoplado, lo suficiente como para soportar la carga que se estabilizará mediante el LSS. En varias modalidades, el miembro estructural de barra principal 510 puede construirse de aluminio, acero o plástico reforzado de fibra de carbono, dependiendo de la resistencia requerida y los tipos de carga que se espera encontrar. Por ejemplo, debido a que la fibra de carbono es un material no isotrópico, y además de la carga de tensión, las cargas de eslinga pueden ocasionar impulsos rápidos y fuertes que pueden estar fuera del eje, por lo que el aluminio o acero sería más apropiado para esa aplicación.

En la parte superior del elemento estructural 510 hay un anillo de elevación 520. El anillo de elevación 520 puede mecanizarse en toda una sola unidad como parte del elemento estructural 510, o puede fijarse con pernos en la parte superior del elemento estructural 510. El anillo de elevación 520 permite que el miembro estructural 510 del LSS se acople, por ejemplo, a un cable, alambre o cuerda para suspender una carga. Por ejemplo, el anillo de elevación 520 puede engancharse en el extremo de una correa o cable de elevación desde una grúa, pluma, helicóptero u otro aparato de elevación. En algunas modalidades, el anillo de elevación es un gancho u otro mecanismo de acoplamiento, según proceda.

Un cojinete rotativo 530 permite que el anillo de elevación 520 gire libremente bajo la carga. El cojinete 530 puede incluir, p. ej., una interfaz de cojinete de bolas. El cojinete rotativo 530 en el anillo de elevación 520 desacopla la energía rotacional de la torsión o enrollamiento del cable de elevación desde el LSS y la carga externa. Esto permite que el LSS gire por debajo del cable de elevación sin verse afectado por ningún giro en el cable, de

manera que el LSS puede orientarse (p. ej., mantener o cambiar orientación) en cualquier dirección necesaria para estabilizar la carga. Esto también reduce los momentos de torsión del cable que se aplicarán a la carga.

En la modalidad ilustrada, en la parte inferior del miembro estructural 510 se proporcionan medios de sujeción 540 tales como agujeros de empernado para acoplar una o más opciones de mangas diferentes, tal como se ilustra más abajo con referencia a las Figuras 6A-6B y 7A-7B.

En algunas modalidades, en lugar de un miembro estructural central al que se engancha el cable, el aparato de estabilidad de carga proporciona un mecanismo de acoplamiento de cable para asegurarlo alrededor del cable. Por ejemplo, el aparato de estabilidad de carga puede incluir una estría o ranura para ubicar el cable y un mecanismo de palanca para retener o sujetar el cable. Al aplicar la fuerza en los lados opuestos del cable, el aparato de estabilidad de carga puede montarse de forma segura en el cable por encima de la carga. En algunas modalidades, tal mecanismo de sujeción contiene ruedas que proporcionan una presión opuesta a una superficie dura, lo que permite una sujeción de presión. En algunas modalidades, las ruedas pueden rotar cuando están sujetadas, permitiendo que el aparato ascienda o descienda el cable.

En modalidades con un mecanismo de fijación de cables para acoplar el aparato de estabilidad de carga a una posición a lo largo del cable, el cable soporta la carga directamente y el LSS no se monta entre el extremo del cable y la parte superior de la carga. El LSS se soporta entonces en el cable, de manera que el LSS no soporta el peso de la carga. En consecuencia, las modalidades que usan tal mecanismo de acoplamiento por cable no requieren una barra de tensión a través del centro del aparato de estabilidad de carga. Los elementos de ajuste rotativo adicionales pueden permitir que el aparato de estabilidad de carga rote libremente alrededor del cable, tal como rotar alrededor del mecanismo acoplado al cable.

El mecanismo de acoplamiento del cable con abrazadera proporciona una sencilla interfaz para aparatos operativos de elevación existentes y dispositivos de carga externa, y no requiere la intervención directa con el cable que se usa para suspender la carga.

Los detalles de implementación de tal mecanismo de acoplamiento por cable se describen adicionalmente en la solicitud de patente provisional de los EE. UU. núm. 62/627.920, presentada el 8 de febrero de 2018, titulada "SUSPENDED LOAD STABILITY

SYSTEM THROUGH SELF POWERED AUTOMATED ELECTRIC DUCT FAN CONTROL", la cual se incorpora en la presente descripción como referencia.

De regreso a las ilustraciones, las **Figuras 6A-6B** ilustran dos mangas de barra principal alternativas que se conectan al miembro estructural central 510 para acoplar una carga de acuerdo con una modalidad. La Figura 6A ilustra una vista en perspectiva 600 de una manga de barra principal 610 que incluye un gancho de carga 630 y cuatro grilletes de arco o anillo en D 640. Los grilletes 640 se montan cada uno en un sujetador de grillete 645 asegurado a la manga de barra principal 610. El gancho de carga 630 se acopla a la manga de barra principal 610 mediante una placa adaptadora 635. El gancho de carga 630 puede ser un gancho de liberación controlada automática (p. ej. electrónicamente), o un gancho automático, tal como uno o más ganchos que se activan remotamente que se controlan remotamente desde la cabina de la aeronave o grúa con una presión de botón. El gancho o ganchos pueden permitir la rotación alrededor del punto de pivote o restringir la rotación del objeto suspendido.

La Figura 6B ilustra una vista en perspectiva 650 de una manga de barra principal 660 que también incluye un gancho de carga 630 y cuatro grilletes de arco o de anillo en D 640. Las mangas de barra principal 660 también incluyen cuatro barras en I sobresalientes 670 que se sueldan o se fijan de cualquier otra manera a la manga 660, y en las cuales se montan los sujetadores de grillete 645.

Las **Figuras 7A-7B** ilustran vistas laterales 700 y 750, respectivamente, del miembro estructural central 510 acoplado a cada una de las dos mangas de barra principal alternativas 610 y 660, respectivamente, para sujetar una carga de acuerdo con una modalidad. Las Figuras 7A y 7B muestran el anillo de elevación 520 montado en su cojinete rotativo 530 en la parte superior del miembro estructural 510, y el gancho de carga 630 en la parte inferior del miembro estructural 510. En las modalidades ilustradas, la barra principal del LSS se conecta a la carga mediante el gancho de carga 630. En diversas modalidades, la conexión inferior puede ser un anillo de elevación inferior u otro mecanismo de acoplamiento usado en, p. ej., en las operaciones de vuelo actuales.

En algunas modalidades, el LSS proporciona una interfaz para las cargas suspendidas que acopla el movimiento del LSS y la carga suspendida. Es decir, en las modalidades ilustradas, el gancho de carga 630 se configura para no girar o dar vueltas independientemente del miembro estructural de barra principal 510; la carga se bloquea rotacionalmente en el LSS.

En algunas modalidades, la interfaz del gancho de carga del LSS incluye un accesorio rotativo similar al cojinete rotativo 530 del anillo de elevación 520 en el extremo opuesto del miembro estructural de barra principal 510, de manera que el LSS puede girar sin necesidad de hacer rotar la carga debajo del LSS.

La **Figura 8** ilustra una vista en perspectiva 800 de un armazón estructural 810 de un aparato de estabilidad de carga suspendida 410, de acuerdo con una modalidad. Al igual que las figuras anteriores, la Figura 8 muestra el miembro estructural de barra principal 510 con un anillo de elevación 520 y el cojinete rotativo 530 en la parte superior, y con una manga de barra principal 610 que incluye grilletes 640 y una placa adaptadora de gancho 635 en la parte inferior. El armazón 810 conectado al miembro estructural 510 incluye un par de nervaduras de perfil oval 820 que soportan largueros horizontales 825. Los largueros horizontales 825 están hechos de tubos huecos y pueden ser, por ejemplo, de fibra de carbono.

Los largueros horizontales 825 se conectan a nervaduras de montaje de propulsor 830 encajadas en paralelo con las nervaduras 820. Las nervaduras de montaje de propulsor 830 incluyen, en sus extremidades superior e inferior, puntos de mecanismo de acoplamiento de propulsor 840 para acoplar los propulsores al armazón 810. Además, las nervaduras de montaje de propulsor 830 se configuran con una abertura central para acomodar una fuente de alimentación, tal como una batería en una bandeja de baterías 850.

La **Figura 9** ilustra una vista en perspectiva 900 de componentes montados en el armazón estructural 810 de un aparato de estabilidad de carga suspendida 410 de acuerdo con una modalidad. En la modalidad ilustrada, la bandeja de baterías 850 de la Figura 8 se llena con una fuente de alimentación tal como una batería 910. La fuente de alimentación puede ser un solo bloque de alimentación o un conjunto de celdas de batería conectadas en serie y/o en paralelo, tal como celdas de polímero de litio (LiPo). Las baterías 910 pueden retirarse de la bandeja de baterías 850 para la inspección. Las baterías pueden cargarse mientras están instaladas en el LSS (es decir, sin tener que retirarlas) a través de los nodos en el LSS 410 que se conectan a una base de carga. Un enlace de datos permite a una unidad o procesador de microcontrolador que monitoree información de energía que incluye (pero no se limita a) voltaje de celda y disipación o consumo de energía en tiempo real.

Además, una batería auxiliar 920 se acopla a la barra principal. La batería auxiliar 920 permite, p. ej., un suministro estable de energía al procesador aun cuando los propulsores extraigan una cantidad excesiva de energía de las baterías principales 910.

El controlador de propulsor 930 permite que el procesador controle la velocidad, consumo de energía y propulsión de los propulsores. El controlador de propulsor 930 puede ser, p. ej., un controlador de velocidad electrónico (ESC, por sus siglas en inglés) para un ventilador de conductos eléctrico (EDF). Un ESC tiene, típicamente, al menos tres conexiones: para la fuente de alimentación, para un propulsor y para el procesador o un microcontrolador, o ambos. El ESC extrae energía de la fuente de energía y la asigna a los propulsores para controlar la cantidad de energía que debe empujarse a los propulsores.

La **Figura 10** ilustra una vista en perspectiva 1000 de los componentes de un aparato de estabilidad de carga suspendida 410 montado en el armazón estructural 810 de acuerdo con una modalidad. Un procesador 1010 o unidad central de procesamiento (CPU) se monta centralmente dentro del armazón 810 en la modalidad ilustrada.

El procesador 1010 puede ser un dispositivo integrado que incluye una computadora de una sola placa y una o más unidades de microcontrolador (MCU, por sus siglas en inglés). La CPU y las MCU están contenidos dentro, p. ej., de una caja negra literal donde se hacen todas las conexiones de enlace de datos. La caja negra es un plástico o polímero resistente, que protege el dispositivo de factores ambientales y operativos, tales como el tiempo y otras condiciones operativas. En algunas modalidades, la CPU y las MCU se montan en la misma placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés).

También se monta en el armazón 810 un transmisor-receptor inalámbrico 1020, que puede formar un transmisor y receptor separados, así como una antena para la comunicación inalámbrica. El transmisor-receptor 1020 y/o la antena inalámbricos también pueden montarse o imprimirse en la misma placa de circuito impreso, como el procesador 1010.

En la modalidad ilustrada en la Figura 10, una unidad de navegación de vectores 1030 incluye una unidad de medición inercial (IMU, por sus siglas en inglés). La IMU proporciona datos de navegación inercial al procesador 1010, y se monta centralmente dentro del armazón 810 al lado del procesador 1010.

Algunas modalidades de un aparato de estabilidad de carga son modulares. Por ejemplo, el LSS puede dividirse en un módulo central y unidades de brazo propulsor o

propulsores. La **Figura 11A** ilustra una vista en perspectiva 1100 de un diseño de módulo central alternativo 1100 de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. El módulo central del LSS 1110 puede configurarse con un mínimo de 2 brazos propulsores de LSS (tales como los brazos propulsores ilustrados en la Figura 12D, más abajo), y un máximo de 4 para lograr la propulsión vectorial deseada. Al igual que otras modalidades de LSS, el aparato 1110 es autopropulsado y completamente inalámbrico con puntos de acceso de comunicación para la transmisión y recepción de Bluetooth, Wi Fi y/o radiofrecuencia (RF).

La **Figura 11B** ilustra una vista frontal 1150 de otro diseño de módulo central alternativo de un aparato de estabilidad de carga suspendida 1160 de acuerdo con una modalidad. El módulo central del LSS 1160 contiene un mecanismo de apagado de emergencia que incluye un pasador de apagado de emergencia 1170. El pasador 1170 puede conectarse a una línea. Después, el pasador 1170 puede jalarsse para provocar una parada de emergencia del LSS. Internamente, dentro del módulo central, un sensor de presencia del pasador de apagado detecta la posición del pasador 1170 para determinar si está o no presente. El aparato 1160 solo puede funcionar cuando el pasador 1170 está presente. Si el pasador 1170 no está presente, el aparato 1160 no se activará. El pasador 1170 puede reinstalarse al colocarlo de nuevo en el hueco del pasador.

La **Figura 12A** ilustra una vista en perspectiva 1200 de un propulsor 1210 configurado para usarse en un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. El LSS incluye propulsores 1210 que están conectados al módulo central. Estos propulsores 1210 empujan el fluido tal como aire, agua o gas en una dirección para permitir el movimiento. Por ejemplo, un propulsor 1210 puede incluir un ventilador con conductos que contiene un motor eléctrico que hace girar las palas del rotor. Las palas del rotor están contenidas dentro de una cubierta o conducto aerodinámico a través del cual se empuja el fluido. En el caso de un ventilador, el fluido es empujado por el aire que pasa por las palas del rotor, causando propulsión.

El aire se captura a través de una entrada en la parte delantera del aparato. En algunas modalidades, las palas del propulsor 1210 pueden girar en ambos sentidos, haciendo que el propulsor sea bidireccional. Al igual que otros medios de fluido de propulsión, los propulsores bidireccionales pueden empujar el aire en las direcciones hacia adelante y hacia atrás. En varias modalidades, las aletas, moldeadas en el alojamiento de los propulsores, ayudan a

generar un flujo de aire vectorial óptimo ortogonal a la sección transversal de la pala, es decir, en la dirección hacia adelante y hacia atrás del propulsor 1210.

La **Figura 12B** ilustra una vista en perspectiva 1225 de un brazo de propulsión de dos propulsores 1230 de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. El brazo de propulsión 1230 es compatible con, por ejemplo, el módulo central del LSS 1160 de la Figura 11B anterior o el aparato de estabilidad de carga 260 de la Figura 2B anterior. Algunos propulsores son más eficientes en la generación de propulsión en una dirección ya sea hacia adelante o hacia atrás. Por lo tanto, los ventiladores pueden orientarse con vectores de propulsión primarios opuestos, como se ilustra en el brazo de propulsión 1230.

En la modalidad ilustrada, el LSS tiene la capacidad de dividirse en unidades modulares. Los propulsores 1210 puede desconectarse de los brazos 1230 para facilitar el almacenaje y los brazos 1230 pueden desconectarse del módulo central 1160. Por ejemplo, un pasador de liberación con pulsador y una interfaz eléctrica permiten que cada uno de los propulsores y combinaciones de brazos se liberen y se desconecten del módulo central 1160.

La **Figura 12C** ilustra una vista en perspectiva 1250 de un miembro de soporte para un brazo de propulsión de dos propulsores 1260 de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. El miembro de soporte ilustrado se conecta alrededor de un propulsor 1210 y permite que el propulsor 1210 se conecte al módulo central 1260. Un miembro de soporte similar que se ciñe alrededor de un propulsor 1210 se ilustra en la Figura 3 anterior.

La **Figura 12D** ilustra una vista isométrica 1275 de otro brazo de propulsión de dos propulsores 1280 de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. El brazo de propulsión 1280 es compatible con, por ejemplo, el módulo central del LSS 1110 de la Figura 11A anterior. El brazo de propulsión 1280 está configurado para plegarse y así simplificar el almacenamiento y despliegue. En el estado desplegado, el brazo de propulsión 1280 es paralelo al plano horizontal del módulo central del LSS 1110. El brazo es capaz de desplegarse de 0-90 grados a través de, p. ej., interfaces manuales, accionadas por resorte o motorizadas.

Las **Figuras 13A-13C** ilustran vistas en perspectiva frontal y lateral de los propulsores montados en el armazón estructural de un aparato de estabilidad de carga

suspendida de acuerdo con una modalidad. La Figura 13A ilustra una vista en perspectiva 1300, la Figura 13B ilustra una vista frontal 1350 y la Figura 13C ilustra una vista lateral 1375. En varias modalidades, el propulsor 1210 incluye un mecanismo 1320 para conectar los puntos de mecanismo de acoplamiento de propulsor 840 en las nervaduras 830. En algunas modalidades, los propulsores 1210 pueden acoplarse y retirarse sin herramientas. En algunas modalidades, en el exterior de un propulsor 1210 hay orificios roscados en ubicaciones opuestas simétricas al centro de gravedad de la cubierta del ventilador en los cuales los brazos de propulsión pueden atornillarse de manera segura al propulsor 1210.

Los propulsores pueden conectarse mediante una serie de alambres agrupados en un solo cable. Los cables terminan en un conector tal como, pero sin limitarse a, conector robusto multipolar tal como un EC5. El lado del conector hembra está en el módulo central del LSS, p. ej., en los puntos del mecanismo de acoplamiento de propulsor 840 en las nervaduras 830, mientras que el conector macho está en el lado del propulsor 1210, p. ej., asociado con el mecanismo 1320 o cerca del extremo de un brazo de propulsión del LSS.

La **Figura 14** ilustra una vista en perspectiva 1400 de un aparato de estabilidad de carga suspendida 410 que incluye sensores montados en el alojamiento aerodinámico 420 de acuerdo con una modalidad. El conjunto de sensores del LSS puede comprender un dispositivo de medición inercial, un dispositivo de medición de orientación y un dispositivo de medición de posición absoluta. El dispositivo de medición inercial (IMS, por sus siglas en inglés) puede incluir acelerómetros, giroscopios y sensores gravitacionales de 3 grados de libertad (3DOF, por sus siglas en inglés), que pueden ser sensores microelectromecánicos (MEMS, por sus siglas en inglés). El dispositivo de medición de orientación puede incluir un magnetómetro tal como una brújula, un inclinómetro, un codificador direccional y un dispositivo de marcación relativa por radiofrecuencia. El dispositivo de medición de posición absoluta puede incluir sensores de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) 1430.

El conjunto de sensores puede comprender, además, un sensor de proximidad o dispositivo de detección y rango de luz (LIDAR, por sus siglas en inglés) 1410 (p. ej., rotativo o lineal), y/o un sensor óptico 1420 tal como una o más cámaras o sensores infrarrojos (IR). Los sensores de proximidad pueden incluir sensores de altura del suelo. Los sensores ópticos pueden colocarse en todos los lados de la cubierta orientados hacia todas las direcciones. Los sensores ópticos también pueden proporcionar información visual al usuario. Esta información es comunicada por el procesador del LSS, a través de un cable de enlace de datos

y/o el transmisor-receptor inalámbrico. Los sensores ópticos y de proximidad permiten que el aparato sea capaz de tener una vigilancia de 360 grados y prevenir las colisiones al detectar obstáculos (p. ej., una porción de un dosel arbóreo) y alterar el curso del LSS para evitar los obstáculos. El aparato también es capaz de retroalimentar los datos de posición en tierra (o agua) al piloto de la aeronave y la tripulación.

Los sensores adicionales del LSS pueden incluir un sensor de tensión para medir la carga en el miembro estructural central 510, un codificador rotacional o sensor de velocidad de propulsor 1210, que puede ser incremental o absoluta, y un sensor de presencia de pasador de apagado 1170.

El LSS puede usar sensores de posición o balizas remotos, unidades computacionales remotas o dispositivos transmisor-receptores de nodo objetivo para ayudar a caracterizar el movimiento de la plataforma de suspensión (p. ej., un helicóptero de entrenamiento), el LSS y la carga suspendida, y una ubicación objetivo de interés tal como una persona o una carga para rescatar o un destino de carga.

El procesador del LSS 1010 aplica algoritmos a los datos del dispositivo de sensor recibido para obtener una respuesta deseada del aparato. Por ejemplo, el sensor GPS puede refinarse a través de algoritmos cinéticos en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés) para refinar la posición absoluta. Las mediciones se fusionan entre sí a través de métodos de fusión de datos no lineales, tales como los métodos de filtración de Kalman para producir estimaciones de estado óptimas en todos los grados de libertad para caracterizar con precisión la ubicación y movimiento del aparato en el espacio geodésico.

La **Figura 15** ilustra esquemáticamente los componentes operacionales de un aparato de estabilidad de carga suspendida 410 que incluye una interfaz remota 1550 de acuerdo con una modalidad. Dentro del aparato LSS 410 están un conjunto de sensores 1505, que puede incluir sensores de posición 1506, sensores de orientación 1507, sensores inerciales 1508, sensores de proximidad 1509, sensores de ubicación de referencia 1510 y sensores de propulsión 1511. La capacidad de procesamiento del LSS 1520 incluye el procesador 1010 y los microcontroladores. La memoria del LSS 1525 comprende, generalmente, una memoria de acceso aleatorio ("RAM") y un dispositivo de almacenamiento masivo permanente no transitorio, tal como una unidad de estado sólido, y contiene dispositivos de navegación 1526, datos objetivo 1527 e información de estado de modo o comando 1528. Los dispositivos de

comunicación 1530 incluyen dispositivos inalámbricos 1531, tal como el transmisor-receptor inalámbrico 1020 y dispositivos de cableado 1532. La salida del LSS 1515 incluye el control de propulsión 1516 mediante los controladores de propulsor 930. Los dispositivos de gestión de energía 1540 regulan y distribuyen la fuente de alimentación, p. ej., las baterías 910. Un bus de datos conecta los diversos dispositivos internos y componentes lógicos del LSS.

Una pantalla interactiva o interfaz remota 1550 es una unidad computacional que puede autoalimentarse o conectarse directamente a una célula. La pantalla interactiva 1550 recibe datos del LSS, p. ej., inalámbricamente. Los datos del LSS se muestran en la pantalla interactiva 1550; los datos computacionales se analizan y se convierten en señales visuales. La pantalla interactiva también comunica al LSS los estados de comando deseados por el operador, tal como se describe más abajo.

La pantalla interactiva o interfaz remota 1550 está en comunicación con el LSS 410 a través de los dispositivos de comunicación 1570, que pueden ser cableados 1572 o inalámbricos 1571. La salida 1560 desde la interfaz remota 1550 puede incluir información que se muestra en una pantalla 1561 y señales de audio 1562. La entrada 1565 a la interfaz remota 1550 para controlar el LSS puede incluir comandos a través de una pantalla táctil 1566 o una palanca de mando 1567. En varias modalidades, la interfaz remota 1550 puede comprender uno o más dispositivos físicos y/o lógicos que proporcionan colectivamente las funcionalidades descritas en la presente descripción.

Los aspectos del aparato pueden incorporarse en un dispositivo computarizado o procesador de datos de propósito especial o especializado y que está específicamente programado, configurado o construido para realizar una o más de las instrucciones ejecutables por computadora que se explican en la presente descripción. Los aspectos del aparato también pueden practicarse en entornos de computación distribuidos donde las tareas o módulos se realizan mediante dispositivos de procesamiento remoto que están conectados a través de una red de comunicaciones, tal como una red de área local (LAN), red de área amplia (WAN), o Internet. En un entorno de computación distribuido, los módulos pueden ubicarse en dispositivos de almacenamiento de memoria local o remota. Como se ilustra esquemáticamente en la Figura 15, el aparato de estabilidad de carga 410 y la interfaz de visualización remota 1550 están conectados por una red cableada o inalámbrica.

La **Figura 16** ilustra una vista en perspectiva 1600 de una unidad de posición remota o nodo objetivo de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. La unidad de posición remota o nodo objetivo comprende un conjunto de sensores externos o baliza que se configura para comunicarse de manera inalámbrica con el LSS como una referencia de posición. Si se considera el LSS como el conjunto de sensores primarios, la ubicación de un conjunto de sensores secundarios puede ser la plataforma desde la cual el cable se suspende y la ubicación de un conjunto de sensores terciarios puede ser una ubicación de interés para la carga (p. ej., posicionamiento para obtener o entregar la carga).

Una unidad de posición remota puede incluir un transmisor-receptor de posición configurado para comunicarse con el LSS a través de su transmisor-receptor inalámbrico 1020 y proporcionar una referencia de posición. Por ejemplo, una unidad de posición remota puede acoplarse al helicóptero de entrenamiento o grúa por debajo de los cuales se suspende la carga.

En algunas modalidades, la unidad de posición remota o nodo objetivo es una caja negra hecha de polímero o plástico durable, lo suficientemente grande como para encajar en una mano, 1610. La caja 1610 tiene una antena externa en la parte lateral o superior de la caja, 1620. La unidad de posición remota puede acoplarse, p. ej., al helicóptero mediante imanes, pernos o cualquier otro mecanismo de acoplamiento. El nodo objetivo puede colocarse en una ubicación sobre el suelo o acoplarse, p. ej., a un chaleco salvavidas u otro dispositivo de flotación, un salvador, una carga para recoger, en una ubicación para entregar una carga o en una ubicación específica operativa.

La **Figura 17** ilustra una vista en perspectiva 1700 de una estación de carga para un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. En algunas modalidades, el LSS puede almacenarse y cargarse en una estación de carga en una ubicación estacionaria o a bordo de una célula para mayor facilidad y comodidad. La estación de carga 1710 puede funcionar con fuentes de alimentación disponibles, tal como la energía de a bordo de una máquina, como un helicóptero, o con la energía de un generador.

La estación de carga 1710 es una estación acoplable, lo que significa que el LSS puede conectarse y colocarse en la propia estación de carga 1710. En algunas modalidades, la estación acoplable tiene dos brazos 1720, uno en cada lado del aparato; y al colocarse el LSS entre los brazos, bloqueará el LSS en su lugar al momento en que se da el sonido de clic. Después de la colocación apropiada, los contactos eléctricos del LSS colocados en el armazón

del aparato harán contacto con los contactos eléctricos dentro de la estación de carga; y se inicia automáticamente una carga eléctrica del LSS. Puede liberarse el LSS al presionar un botón en la parte lateral de la estación de carga, 1740.

Para mostrar al usuario el estado de la carga, el aparato de carga tiene una luz que indica el estado de la carga, 1730. En la parte superior de la estación de carga, la estación tiene un interruptor de energía para cuando se necesite operativamente, 1750. Mientras tanto, los operadores también pueden encender/apagar la estación de carga y ver el estado de la carga a través de pantallas interactivas portátiles 1550.

La **Figura 18** ilustra una rutina operativa 1800 de un aparato de estabilidad de carga suspendida que incluye múltiples estados de modos o comandos de acuerdo con una modalidad.

En el bloque 1805, el aparato de aparato de estabilidad de carga se instala en el cable desde el cual se suspenderá la carga. No es necesario activar el aparato para su instalación.

En el bloque 1810, el LSS está en marcha. En algunas modalidades, el aparato puede inicializarse al presionar un botón situado en la parte frontal del módulo central del LSS. Cerca del botón exterior, fácilmente accesible, que puede inicializar el aparato, puede estar presente otro botón que permite apagar el aparato de inmediato cuando se presiona. Además de la interfaz de inicialización en el módulo central, el aparato también puede ser inicializado por un operador no directamente al lado del aparato. Uno o más operadores externos, que incluyen, pero no se limitan a, un rescatador al final del cable, pueden inicializar el aparato al presionar un botón en una o más pantallas interactivas 1550 conectadas de manera inalámbrica al LSS.

En el bloque 1815, el LSS se activa y procede a la operación 1820 en uno de los estados de modos o comandos funcionales del LSS seleccionados por el operador. Los estados de modos o comandos funcionales del aparato son:

Modo inactivo 1821: todos los dispositivos internos del LSS están operativos (p. ej., el LSS observa su movimiento y calcula la acción correctiva), pero los propulsores están apagados o mantienen solo una velocidad inactiva, sin ninguna acción que afecte el movimiento de la carga.

Mantener una posición relativa vs. modo de aeronave de entrenamiento 1822: El LSS se estabiliza con respecto al punto de origen de suspensión. Por ejemplo, cuando el LSS está

suspendido con una carga por debajo de un helicóptero, el LSS permanecerá directamente por debajo del helicóptero. El LSS localiza el movimiento de la aeronave de entrenamiento y realiza las acciones correctivas necesarias para amortiguar apremiantemente cualquier otro movimiento de carga suspendida. Si la aeronave de entrenamiento está viajando a una velocidad baja, el LSS se acoplará a la velocidad para que las dos entidades se muevan al unísono. Ante una perturbación en la carga, el LSS proporciona propulsión en la dirección de la perturbación para contrarrestar la perturbación, eliminar el balanceo.

Mover a/detener en el modo Posición 1823: El LSS se estabilizará en una posición fija, contrarrestando la influencia del clima o movimientos pequeños del helicóptero u otra plataforma de suspensión. Este modo tiene el efecto de eliminar todo movimiento. El operador puede enviar la posición objetivo deseada al LSS a través de la interfaz remota 1550. Esto puede lograrse de al menos dos maneras:

Posición del nodo objetivo 1824: El operador puede colocar una unidad de posición remota del LSS o nodo objetivo 1610 en la ubicación de descenso deseada (p. ej., ubicación 160 de la Figura 1). El nodo objetivo 1610 se comunicará inalámbricamente con el LSS para indicar la posición deseada, y el LSS responde al maniobrar en la ubicación deseada. La interfaz remota 1550 UI recibirá y mostrará la información de ubicación de ambas entidades.

Posición designada por el usuario 1825: El operador puede usar la interfaz remota 1550 UI para enviar una posición designada (p. ej., coordenadas de latitud y longitud) como una ubicación ordenada al LSS. El aparato, entonces, dirigirá constantemente la carga suspendida hacia la posición deseada. El aparato enviará simultáneamente retroalimentaciones a la interfaz remota 1550 IU con respecto a la información de posición y distancia.

Modo de posición de bloqueo 1826: El LSS resistirá todo movimiento y mantendrá su posición actual independientemente del movimiento de la aeronave de entrenamiento. Este modo tiene el efecto de eliminar todo movimiento. Este modo tiene respuestas dependientes, respectivamente, de la velocidad, factores de seguridad y limitaciones físicas de la aeronave de entrenamiento.

Modo de control directo 1827: Funcionamiento de la palanca de control del LSS con tres grados de libertad. El operador pueda controlar directamente el posicionamiento, rotación y nivel de salida del propulsor. Aunque el LSS esté completamente cerrado y no requiera

control externo durante el funcionamiento, existe una opción para el control por parte del usuario.

En el bloque 1830, el operador completa la operación y recupera el LSS.

En el bloque 1835, puede apagarse el aparato presionando un botón en la pantalla interactiva o pulsando el botón en el mismo módulo central. Si el LSS incluye brazos de propulsión plegables, estos pueden doblarse hacia arriba. La carga se separa del gancho de carga 630 y, después, el cable suspendido se separa del anillo de elevación 520 en la parte superior del LSS. El LSS podrá, entonces, ponerse en su cargador o en cualquier ubicación conveniente.

La **Figura 19** ilustra una rutina de decisión y control 1900 del aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. El LSS opera en un bucle cerrado para entender su posición y movimiento en tiempo casi real, realizar una serie de cálculos para determinar la mejor respuesta deseada del aparato y, después, enviar la respuesta deseada al conjunto de propulsores del dispositivo de propulsión de aire para mitigar el balanceo del cable durante las operaciones. Este proceso es continuo siempre y cuando el aparato está activado.

El diagrama de flujo de control de nivel superior del LSS 1900 comienza en el bloque 1905 con la adquisición de datos de una plétora de sensores que incluyen (pero no se limitan a) acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, GPS, lidar/radar, visión artificial y/o telémetros.

En el bloque 1910, el LSS combina datos de los sensores para obtener una fusión de datos que describe su posición, orientación, movimiento y entorno.

Los datos de sensor se fusionan y se filtran en el LSS a través de las variantes no lineales del filtro de Kalman para producir una representación precisa del estado del aparato. Los métodos tradicionales de control de bucle cerrado que incluyen controladores de retroalimentación proporcional, integral y derivativa difusos sintonizados tienen una comunicación bidireccional con métodos de control avanzado que incluyen redes neuronales de aprendizaje profundo y filtros de Kalman propagados de futuro, lo que hace posible una mayor identificación del aparato en tiempo real.

En el bloque 1915, el LSS realiza una estimación de estado usando estimadores de estado no lineales para proyectar un movimiento futuro a corto plazo en base a la fusión de datos y a la retroalimentación desde el motor de control y decisión al estimador de estado.

En el bloque 1920, el motor de control y decisión del LSS toma la estimación de estado 1915, informada por el estado de modo o comando funcional seleccionado por el usuario 1820, así como la retroalimentación adicional del mapeo de orientación y propulsión 1930 y el control de salida 1940, y decide cómo el LSS debe moverse o ejercer fuerza.

La salida algorítmica del aparato se envía a los controladores de movimiento en los cuales se enviará la respuesta de propulsión deseada a los ventiladores de conducto eléctrico a través del control de fase. La salida de propulsión neta se mapea en tiempo real a través de codificadores y celdas de carga, después se envía de regreso al host y a los controladores para el control de bucle cerrado.

En el bloque 1930, el mapeo de propulsión y orientación del LSS aplica la decisión del LSS sobre cómo el LSS debe moverse o ejercer fuerza 1920 para determinar una propulsión y una orientación para aplicar la propulsión para mover o ejercer fuerza según lo decidido.

En el bloque 1935, el mapeo del ventilador aplica la propulsión y orientación determinados para aplicar la propulsión para generar un mapeo del ventilador para controlar los propulsores 1210 para lograr propulsión y orientación determinados de la LSS.

En el bloque 1940, los propulsores del LSS 1210 ejercen la salida de control ordenada, ejecutándose una respuesta dinámica en la forma de propulsión que contrarresta el movimiento no deseado.

Todo el proceso es sin tripulación y automatizado, aparte de los modos de control funcionales seleccionados por un operador de alto nivel. La salida neta es una fuerza de control para estabilizar una carga suspendida.

Las luces indicadoras de estado pueden montarse en varias superficies del LSS para ayudar en la visibilidad y funcionamiento del LSS desde arriba y abajo. Por ejemplo, el LSS puede tener iluminación externa, tal como luces LED cerca de los propulsores, que identifican los bordes y la orientación del LSS. Esto permite una identificación mejorada en condiciones difíciles de ver, tales como las inclemencias del tiempo. Durante el funcionamiento, ya sea en la pantalla interactiva o en el cuerpo del propio aparato, los indicadores de visualización LED muestran que el aparato está activo y transmiten información útil.

La **Figura 20A** ilustra una vista en perspectiva de un anillo de cable superior con luces externas indicadoras de estado de un aparato de estabilidad de carga suspendida de

acuerdo con una modalidad, y **la Figura 20B** ilustra una vista superior de luces indicadoras de estado de un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. En la parte superior del alojamiento del LSS y alrededor del anillo de elevación 520, los indicadores de estado iluminados pueden representar diversos tipos de información útil para un operador desde el LSS.

En algunas modalidades, una exhibición de luz indicadora de estado puede indicar integridad de recepción de señal del LSS. El procesador del LSS 1010 mide la fuerza de la señal y en base a umbrales predeterminados, cambia los colores de las luces para indicar tal fuerza.

Otro indicador de estado puede indicar la dirección y cantidad de propulsión que el aparato está exhibiendo. En algunas modalidades, las flechas 2010 son LED de color y en ellas la flecha más interna que apunta hacia afuera es verde, la siguiente es amarilla, la tercera es naranja y la flecha externa es roja. El LSS puede encender los indicadores de flecha 2010 para indicar la dirección hacia la que el aparato está tratando de mover la carga, y usar la jerarquía de colores de flecha para representar la salida del aparato. Por ejemplo, un indicador verde 2010 puede indicar un nivel de salida del aparato de 5 %-25 %, un amarillo puede indicar 25 %-50%, un naranja 50 % -75 % y un rojo 75 %-100 %. Un alto nivel de salida también proporciona una indicación para que un operador de plataforma, tal como un operador de grúa o piloto de aeronave, se mueva en la dirección indicada por las flechas 2010 para reducir la salida del aparato y mantener el posicionamiento de carga deseado.

El anillo central concéntrico de LED 2020 también puede incluir colores, tal como un anillo interno verde, un anillo en el medio naranja y un anillo externo rojo. Los anillos circulares de LED 2020 pueden indicar la altura de la carga por encima del suelo. Por ejemplo, el anillo verde puede indicar una altura de más de 25 pies por encima del suelo, el anillo naranja puede indicar una altura de entre 25 pies y 10 pies por encima del suelo, y el anillo rojo puede indicar una altura de menos de 10 pies por encima del suelo.

En varias modalidades, las luces externas indicadoras de estado del LSS pueden configurarse para indicar una o más de una posición del LSS, una orientación del LSS, una distancia de los obstáculos, una altura por encima del suelo, una calidad de señal del transmisor-receptor inalámbrico, un estado de modo o comando del procesador del LSS, un comportamiento inercial de la carga, una capacidad de energía o energía disponible de la

fuente de alimentación, una carga de trabajo o consumo de energía de los propulsores, la propulsión desde cada propulsor, un movimiento o dirección de propulsión del LSS y una dirección recomendada para un operador para maniobrar la plataforma de la que se suspende la carga.

La **Figura 21** ilustra una captura de pantalla 2100 de una interfaz de control para un aparato de estabilidad de carga suspendida de acuerdo con una modalidad. La pantalla interactiva 1550 es un dispositivo computacional en comunicación inalámbrica con el LSS, con una pantalla que muestra los indicadores para el estado actual del aparato y los controles para el mismo. Por ejemplo, la captura de pantalla ilustrada incluye un gráfico 2110 de propulsión a lo largo del tiempo para cada propulsor 1210 y una lectura de la capacidad de energía 2120 y medidas para la propulsión actual del ventilador 2130. En varias modalidades, la pantalla interactiva 1550 también indicará la posición del aparato LSS con relación a la ubicación de la plataforma de suspensión y/o nodo objetivo. La pantalla interactiva 1550 también proporciona retroalimentación de estado de la carga en la forma de indicadores visuales (y audibles, cuando proceda) que describen el comportamiento inercial de la carga, las medidas sugeridas y la carga de trabajo del aparato en tiempo real.

En varias modalidades, la pantalla interactiva 1550 contiene diferentes botones que indican y seleccionan diferentes estados de modos o comandos funcionales del aparato, como se describió más arriba con referencia a la Figura 18. Si el operador no logra alcanzar el LSS, el operador también puede inicializar el LSS a través de la pantalla interactiva 1550. La interfaz de control 2100 también incluye un mecanismo de apagado de emergencia 2140 en la forma de un interruptor "APAGADO" rojo brillante.

La **Figura 22** ilustra un gráfico 2200 que traza el movimiento de una carga que se balancea 2230 y el movimiento de una carga estabilizada 2240 por un aparato de estabilidad de carga suspendida. En el eje Y, el gráfico traza la posición angular (en grados) de una carga 2210, en este caso se representa un nadador de rescate que se balancea por debajo de un helicóptero. En el eje X, el gráfico muestra el tiempo transcurrido (en segundos) 2220 desde un balanceo inicial de 30 grados, una perturbación excepcionalmente grande debido a vientos turbulentos, mientras que un nadador de rescate totalmente equipado con un peso de 100 kg se baja a un barco. Tal gran balanceo desde el eje vertical es una situación excepcionalmente peligrosa para el nadador, la tripulación de la aeronave de entrenamiento y para las personas que necesitan ayuda en el barco.

Sin el LSS, el piloto recuperaría gradualmente el control del nadador suspendido 2230, pero este continuaría balanceándose por un tiempo prolongado y, en última instancia, podría enredarse o golpearse en la baranda del barco y caer a la cubierta. En contraste, con el LSS, el nadador regresa rápidamente a una tranquila posición vertical debajo de la aeronave de entrenamiento. El LSS amortigua el movimiento de balanceo de 30 grados a menos de un grado en menos de diez segundos. Al incorporar el LSS en tal operación, se reduce el tiempo de vuelo del helicóptero y se permite que el jefe de la tripulación haga descender al nadador de forma segura en el barco, lo que disminuye finalmente el riesgo y la duración de la operación.

Los aparatos de estabilidad de carga descritos en la presente descripción controlan el movimiento tipo pendular de una carga externa acoplada a un cable a través de un dispositivo dinámico de propulsión de aire para eliminar el balanceo lateral y rotacional. El LSS es independiente del tipo de plataforma de la cual se suspende. Se caracteriza por las dinámicas de vuelo necesarias para realizar medidas correctivas en cargas suspendidas de todo tipo. Es adaptable a cargas externas, cargas de eslinga y operaciones de rescate de elevación, entre muchas otras aplicaciones que pueden beneficiarse de un dispositivo de estabilización de bucle cerrado, autónomo y autoalimentado que contrarresta el balanceo pendular de cualquier carga suspendida.

Aunque en la presente descripción se han ilustrado y descrito modalidades específicas, los expertos en la técnica apreciarán que implementaciones alternativas y/o equivalentes pueden sustituir a las modalidades específicas mostradas y descritas, sin apartarse del alcance de la presente descripción. Por ejemplo, aunque varias modalidades se han descrito más arriba en términos de un helicóptero de entrenamiento, en otras modalidades puede usarse un LSS por debajo de una grúa o pórtico de construcción. Esta solicitud pretende abarcar cualquier adaptación o variación de las modalidades descritas en la presente descripción.