

**CIMENTACIONES DE ENTRAMADO OPTIMIZADAS, ADAPTADORES PARA
CIMENTACIONES DE ENTRAMADO OPTIMIZADAS, Y SISTEMAS Y
MÉTODOS RELACIONADOS**

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esto reivindica la prioridad de la solicitud de patente Provisional de EE.UU. n.º 62/745.188 presentada el 12 de octubre de 2018, titulada "CIMENTACIONES CON ESTRUCTURA EN A OPTIMIZADAS PARA MATRICES SOLARES AXIALES Y SISTEMAS Y MÉTODOS RELACIONADOS", y n.º 16/413.551 presentada el 15 de mayo de 2019, titulada "CIMENTACIONES DE ENTRAMADO OPTIMIZADAS, ADAPTADORES PARA CIMENTACIONES DE ENTRAMADO OPTIMIZADAS, Y SISTEMAS Y MÉTODOS RELACIONADOS" cuyas divulgaciones se incorporan por referencia en el presente documento en su totalidad.

15 ANTECEDENTES

La energía solar es una de las fuentes de energía potenciales más grandes de la Tierra. Por encima de la atmósfera, la irradiación solar por unidad de área es de 1,361 kilovatios por metro cuadrado. Al nivel del mar, la densidad de energía utilizable se reduce a 250 vatios por metro cuadrado. Usando un modelo bidimensional para aproximar la Tierra, 250 vatios/metro cuadrado $\times \pi \times 6.371.000 \text{ metros}^2$ produce aproximadamente 32.000 terra (billones) de vatios de energía que golpean continuamente la superficie de la Tierra. Suponiendo que el sol continúe quemando y emitiendo fotones durante mil millones de años más, la supervivencia de la vida humana depende en última instancia de aprovechar esta fuente esencialmente ilimitada de energía limpia.

El principal impedimento para la adopción solar a gran escala hasta ahora ha sido el coste. A diferencia de otras fuentes de energía, los costes de energía solar se cargan por adelantado mientras que los costes operativos son comparativamente bajos. Las fuentes de energía basadas en combustibles fósiles requieren costes iniciales, así como costes de pago por uso por el consumo de combustible. Desafortunadamente, no todos los costes actuales se reflejan en el precio de la energía generada a partir de fuentes de combustibles fósiles. Estas fuentes de energía "sucias" tienen importantes costes externos derivados de las emisiones de CO₂ que, en ausencia de un impuesto al carbono, no se reflejan en el coste. Además de esta ventaja de costes, las empresas de

servicios públicos arraigadas y los productores de combustibles fósiles han presionado eficazmente para obstaculizar el progreso de la energía solar, incluso en los estados con mayor potencial solar.

5 A pesar de estos factores adversos, el coste de la energía solar ha bajado lo suficiente como para que incluso cuando se combina con el almacenamiento de energía, la energía solar es equivalente o menos costosa que la energía generada a partir del carbón, petróleo e incluso gas natural. En el contexto del mercado de la electricidad, la diferencia del coste relativo entre fuentes competidoras se cuantifica en términos de coste por unidad, normalmente un kilovatio hora (kWh). Las matrices solares a gran escala, las denominadas matrices a "escala de servicios públicos", pueden tener decenas a cientos de megavatios de capacidad de generación de energía, poniéndolos en la misma escala que las pequeñas centrales eléctricas de carbón y gas natural. Estas matrices generan energía que se alimenta a la red y se vende a precios al por mayor del orden de unos pocos centavos por kWh.

15 El desarrollo de proyectos solares a escala de servicios públicos se financia por lo general mediante contratos de compra de energía (PPA). Con un PPA, un comprador (por ejemplo, un operador de servicios generales, de red, etc.) acuerda comprar toda la energía generada por el sistema a una tasa fija durante la vida operativa de la matriz (por ejemplo, 30 años). Esto permite que un banco u otro inversor valoren con precisión el flujo de ingresos futuro y preste dinero para financiar la construcción de la matriz.

25 Las plantas de energía solar a escala de servicios públicos se configuran predominantemente como matrices montados en el suelo de inclinación fija o seguidores de eje único. Las matrices de inclinación fija están dispuestas en filas de paneles orientados este-oeste inclinados hacia el sur en un ángulo dictado por la latitud del sitio de la matriz- cuanto más lejos del ecuador, más pronunciado será el ángulo de inclinación. Por el contrario, los seguidores de eje único se instalan en filas de norte-sur con los paneles solares unidos a un eje giratorio denominado tubo de torsión que mueve los paneles de una orientación este a una orientación oeste durante el transcurso de cada día, siguiendo la progresión del sol a través del cielo. A los fines de esta divulgación, tanto los seguidores de inclinación fija como los de eje único se denominan colectivamente matrices solares axiales.

35 Excluyendo los costes de adquisición de tierras, los costes generales para

construir las matrices a escala de servicios públicos incluyen la preparación del sitio (construcción de carreteras, nivelación, conexiones de red y agua, etc.), cimentaciones, seguidor o hardware de inclinación fija, paneles solares, inversores y conexiones eléctricas (conducto, cableado, zanjas, interfaz de red, etc.). Muchos de estos han bajado de precio en los últimos años debido a la innovación continua y a las economías de escala, sin embargo, un área que se ha ignorado en gran medida son las cimentaciones. Las cimentaciones proporcionan una interfaz estructural uniforme que acopla el sistema al suelo. Al instalar un seguidor de eje único convencional, después de que se haya preparado el sitio, se hincan normalmente monopilotes verticales en el suelo a intervalos regulares dictados por el fabricante del seguidor y/o el plano del sitio; los componentes del sistema de seguidor se unen posteriormente a la cabeza de esos pilotes. Más a menudo, estos monopilotes tienen un perfil en forma de H, pero también pueden tener forma de C o incluso de caja. En convencional, las matrices de seguidor de eje único a gran escala, la adquisición y la construcción de las cimentaciones pueden representar hasta el 5-10 por ciento del coste total del sistema. A pesar de esta parte relativamente pequeña del coste total, cualquier ahorro en acero y mano de obra asociado con las cimentaciones representará una cantidad significativa de dinero en una gran cartera de proyectos solares. También, los acuerdos de desarrollo de seguidores a menudo se cierran un año o más antes de que se incurra realmente en los costes de instalación, por lo que cualquier ahorro en cimentación posterior al acuerdo que se pueda realizar se sumará a las ganancias ya incluidas en los cálculos que respaldaron la construcción del proyecto.

Una de las razones por las que los monopilotes siguen dominando el mercado de las cimentaciones de rastreadores de eje único es la simplicidad. Es relativamente fácil hincar monopilotes en el suelo a lo largo de una línea recta con la tecnología existente, aunque que su diseño es inherentemente un desperdicio. La física de un monopilote exige que sea de gran tamaño porque los miembros estructurales individuales no son buenos para resistir las fuerzas de flexión. Cuando se usa para soportar un seguidor de eje único, las fuerzas más grandes sobre la base no provienen del peso de los componentes, sino más bien la fuerza lateral combinada del viento que golpea los paneles solares. Esta fuerza lateral se traduce en la cimentación como un momento flector. La magnitud del momento flector es mucho mayor que la carga estática atribuible al

peso de los paneles y componentes del seguidor. Actúa como un brazo de palanca que intenta flexionar el pilote, y cuanto más largo es el brazo de palanca, mayor será la magnitud de la fuerza. Muchas empresas de seguidores especifican una altura mínima de cimentación de 101,6 cm (40 pulgadas) o más.

- 5 Por lo tanto, en el contexto de los seguidores de eje único, las cimentaciones de monopilotes deben sobredimensionarse e hincarse profundamente en el suelo para soportar cargas laterales.

Una alternativa propuesta a las cimentaciones de monopilotes es utilizar un par de patas en ángulo pronunciado para formar una cimentación con estructura en A o en forma de entramado. Una estructura en A tiene la ventaja de convertir las cargas laterales en fuerzas axiales de tensión y compresión en las patas. Como ejemplo, esto se ve en la Solicitud de Patente de EE. UU. publicada, 2018/0051915 (en adelante, "la solicitud '915"). La solicitud '915 enseña un dispositivo de soporte para paneles solares que consiste en un par de tornillos de tierra clavados en el suelo en paralelo o en ángulos pronunciados entre sí y unidos por encima del suelo con un puente. De acuerdo con la divulgación, en la realización en ángulo, las patas están inclinadas una hacia la otra en un ángulo que está preferentemente entre 10 y 35 grados, y más preferentemente entre 15 y 25 grados. Ese ángulo es la separación de las patas en el vértice de la estructura en A y corresponde a un ángulo de pata en un intervalo de $\pm 72,5$ grados a ± 85 grados y más preferentemente de $\pm 78,5$ grados a $\pm 82,5$ grados con respecto a la horizontal. Como se expone con más detalle en el presente documento, los ángulos tan pronunciados, aunque todavía son capaces de trasladar cargas laterales en tensión y compresión, darán como resultado fuerzas de tracción y compresión mucho mayores que la carga lateral subyacente. La magnitud de las fuerzas de tracción y compresión generadas por las cargas laterales no está correlacionada linealmente con el ángulo de la pata, un hecho que no es reconocido por la enseñanza de la solicitud '915. Como resultado, en ángulos tan pronunciados, las patas deben sobredimensionarse o incluir características ortogonales adicionales para resistir los grandes valores de tensión y compresión que se generan. De lo contrario, la cimentación fallará. Esta es parte de la razón por la que las estructuras en A con tornillos de tierra no han logrado ganar tracción en la industria solar a escala de servicios públicos, excepto en los suelos más difíciles en los que dominan los rechazos costosos.

35 En reconocimiento de este problema, un objeto de diversas realizaciones

de esta divulgación es proporcionar una cimentación de entramado o con estructura en A para seguidores de eje único que esté limitada a un intervalo de ángulos que reduzca la magnitud no lineal de las fuerzas de tracción y compresión impartidas al entramado desde las cargas laterales y, por tanto, optimiza la cantidad de acero y la profundidad de empotramiento necesarios para una pata de diámetro dado.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

la Figura 1A muestra una porción de un sistema de seguidor de eje único a modo de ejemplo soportado por múltiples cimentaciones de monopilotes convencionales;

la Figura 1B es una vista desde un extremo del sistema de la Figura 1A que muestra el intervalo de ángulos de los paneles solares a medida que gira el tubo de torsión;

la Figura 1C es un diagrama de fuerzas que muestra cómo las cargas laterales se trasladan en un momento de flexión en una cimentación de monopilotes convencional de la Figura 1A;

la Figura 2A muestra una porción de un sistema de seguidor de eje único a modo de ejemplo soportado por una cimentación con estructura en A moderadamente inclinada;

la Figura 2B es una vista desde un extremo del sistema de la Figura 2A que muestra el intervalo de ángulos de los paneles solares a medida que gira el tubo de torsión;

la Figura 2C es un diagrama de fuerzas que muestra cómo las cargas laterales se trasladan en tensión y compresión en la cimentación con estructura en A moderadamente inclinada de la Figura 2A;

la Figura 3A muestra una porción de un sistema de seguidor de eje único soportado por una cimentación con estructura en A con pendiente empinada convencional;

la Figura 3B es un diagrama de fuerzas que muestra la magnitud de las fuerzas de tracción y compresión en la estructura en A con pendiente empinada de 3A a 77,5 grados en respuesta a una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras);

la Figura 3C es un diagrama de fuerzas que muestra la magnitud de las fuerzas de tracción y compresión en la estructura en A con pendiente empinada de 3A a 82,5 grados en respuesta a una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500

libras);

la Figura 3D es un gráfico de fuerzas de tracción y compresión a través de un intervalo de ángulos empujados para una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras);

5 la Figura 4A es un sistema de cimentación con estructura en A moderadamente inclinada de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;

la Figura 4B es un diagrama de fuerzas que muestra la magnitud de las fuerzas de tracción y compresión en la estructura en A moderadamente inclinada de 2A y 2B a ± 60 grados en respuesta a una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras);

10 la Figura 4C es un diagrama de fuerzas que muestra la magnitud de las fuerzas de tracción y compresión en la estructura en A moderadamente inclinada de 2A y 2B a ± 65 grados en respuesta a una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras);

15 la Figura 4D es un gráfico de las fuerzas de tracción y compresión a través de un intervalo de ángulos moderadamente inclinados y empujados en respuesta a una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras);

la Figura 5A es un diagrama que muestra la correlación entre el ángulo de entramado y la longitud de pata de la estructura en A a ± 60 grados.

20 la Figura 5B es un diagrama que muestra la correlación entre el ángulo de entramado y la longitud de pata de la estructura en A a ± 70 grados;

la Figura 5C es un gráfico que muestra la longitud de pata frente al ángulo de pata de entramado para un intervalo de ángulos agudos;

25 la Figura 6A es una vista en perspectiva de una porción de un seguidor de eje único y de una cimentación con estructura en A de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;

la Figura 6B es una vista desde un extremo de la porción del seguidor de eje único y de la cimentación con estructura en A mostrada en la Figura 6A;

30 la Figura 7A es una vista en perspectiva de un adaptador adicional para un seguidor de eje único descendente que orienta las cargas laterales en el punto de trabajo de una cimentación en forma de estructura en A de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;

la Figura 7B es una vista desde un extremo del adaptador para el seguidor de eje único descendente de la Figura 7A que soporta un seguidor de eje único;

35 la Figura 8 es una vista desde un extremo de un adaptador de cojinete

que soporta un seguidor de eje único descendente de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;

la Figura 9 es una vista desde un extremo de un adaptador de cojinete que soporta un seguidor de eje único descendente de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;

la Figura 10 es una vista desde un extremo de un adaptador de cojinete que soporta un seguidor de eje único ascendente de acuerdo con diversas realizaciones de la invención; y

las Figuras 11A y 11B son vistas en perspectiva y desde arriba, respectivamente, de un seguidor de eje único convencional.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La siguiente descripción está destinada a transmitir una comprensión profunda de las realizaciones descritas proporcionando una serie de realizaciones específicas y detalles que involucran cimentaciones con estructura en A utilizadas para soportar seguidores solares de eje único. Debe apreciarse, sin embargo, que la presente invención no está limitada a estas realizaciones y detalles específicos, que son solo ilustrativas. Se entiende además que un experto en la materia a la vista de los sistemas y métodos conocidos, apreciaría el uso de la invención para los fines previstos.

Como se ha comentado en los antecedentes, cuando un seguidor de un eje se soporta en cimentaciones de monopilotes, las cargas laterales inducidas por el viento que golpea la matriz generan grandes momentos flectores que deben ser resistidos por la cimentación. La Figura 1A muestra una porción del seguidor de eje único 100 soportado por cimentaciones de monopilotes alineados 100. El seguidor 100 a modo de ejemplo en esta Figura consiste en paneles solares 140, unidos al tubo de torsión 130 mediante brazos de panel 135. El tubo de torsión 130 se captura dentro de múltiples conjuntos de cojinetes cilíndricos alineados 120 que están unidos cada uno sobre los pilotes en H 110 respectivos. Aunque no se muestra, un pilote soportará también normalmente un motor de accionamiento o un conjunto de engranajes que mueve el tubo de torsión. También, las interconexiones eléctricas entre los paneles solares se han omitido intencionadamente. En condiciones del mundo real, los paneles adyacentes se conectarían en serie para formar cadenas de corriente continua (CC) de alta tensión que se alimentan a una o más cajas combinadoras y/o inversores.

El seguidor de eje único 100 mostrado en la Figura 1 es un diseño ascendente convencional en el que el conjunto de cojinete está unido al cabezal del pilote y el tubo de torsión gira dentro del cojinete alrededor de su propio eje principal. Otros sistemas de seguidor pueden emplear un diseño descendente en el que el tubo de torsión cuelga de una bisagra recibida en el alojamiento de cojinetes de modo que el tubo de torsión puede recorrer un arco tal como un péndulo. En tales sistemas, el motor de accionamiento está desplazado del eje principal del tubo de torsión de modo que el eje de giro del seguidor esté alrededor del punto de bisagra. El alojamiento de cojinetes está todavía unido al cabezal de cada pilote, pero el eje de giro está desplazado del eje principal del tubo de torsión. Se desvela uno de tal seguidor descendente, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. n.º 10.222.446, que queda incorporada en su totalidad en el presente documento por referencia. Las diversas realizaciones de la invención son compatibles con seguidores de eje único ascendentes así como descendentes o desplazados.

La Figura 1B es una vista desde un extremo de la porción del seguidor convencional que se muestra en la Figura 1A. La Figura muestra el pilote de cimentación 110, el conjunto de cojinete 120 y el tubo de torsión 130. El giro del tubo de torsión 130 hace que los paneles solares 140 se desplacen a través de un intervalo de ángulos de este a oeste que se muestran por las líneas de puntos en la Figura. La extensión del giro angular se especifica por el fabricante del seguidor, pero actualmente es de ± 55 grados a ± 60 grados con respecto a la horizontal (0 grados). Debido a que el pilote se hinca (es decir, está orientado en 90 grados), hay un amplio espacio libre para que los paneles logren su máximo ángulo de giro sin interferencia mecánica de la cimentación.

La Figura 1C es un diagrama de fuerza que muestra el efecto de las cargas laterales en dicho seguidor. La carga lateral F_L imparte un momento de flexión en la cimentación en el punto en el que el tubo de torsión se une al pilote (por ejemplo, en el conjunto de cojinete). La magnitud del momento resultante M es equivalente a la magnitud de la fuerza F_L multiplicado por la altura H sobre el punto en el que la cimentación está anclada al suelo. Si el pilote se extiende 1,22 m (cuatro pies) sobre el suelo y la carga lateral es de 1.133,98 kg (2.500 libras), el momento resultante M será al menos $1.133,98 \times 1,22$ o 1.383,46 m/kg (2.500x4 o 10.000 lb/ft). La punta del pasador a menudo estará a más de 0,3 m (un pie) debajo del suelo porque la capa superior de suelo ofrece poca resistencia a los

momentos, por lo que el factor de seguridad del pilote debe aumentarse para tener en cuenta esa realidad. Por lo tanto, para lograr la calificación estructural necesaria, los pilotes utilizados para soportar la matriz deben estar clasificados para resistir ese momento y clavarse lo suficientemente para permanecer inmovilizados cuando se someten a un momento de este tipo. Esto requiere el uso de un monopilote fuerte, como el pilote en H W6x9 o W6x12 de uso común, que tiene una brida de 152,4 mm (seis pulgadas) y 4,08 o 5,44 kg (nueve o doce libras) de acero por metro (pie) lineal respectivamente, con hasta 1,52 a 2,13 m (cinco a siete pies) de empotramiento bajo tierra.

Los inventores y el solicitante de esta divulgación han propuesto una alternativa a las cimentaciones de monopilotes verticales que tiene como objetivo reducir significativamente la cantidad total de acero necesaria para soportar matrices solares axiales. Este sistema de cimentación alternativo, conocido comercialmente como EARTHTRUSS™, consiste en un par de patas sustancialmente alineadas moderadamente inclinadas configuradas como una estructura en A o entramado que se extienden por encima y por debajo del suelo y se unen en el vértice con un adaptador, conjunto de cojinete u otro elemento de soporte del tubo de torsión. La arquitectura de entramado ofrece varias ventajas sobre las cimentaciones de monopilotes convencionales. En primer lugar, si está diseñado correctamente, la estructura en A traducirá las cargas laterales en fuerzas axiales de tensión y compresión en las patas en lugar de flexionarse. Los miembros estructurales individuales son deficientes para resistir la flexión, pero relativamente buenos para resistir las fuerzas axiales. La estructura en A o entramado se aprovecha de esto dirigiendo esas fuerzas a lo largo del eje de las patas en el que se aplica mejor. Por lo tanto, el tamaño y calibre del acero que compone las patas puede ser mucho más pequeño que un monopilote equivalente. También, sin necesidad de resistir la flexión, las patas no necesitan hundirse tan profundamente como los monopilotes convencionales. Esto ahorra acero pero también reduce la probabilidad de encontrar un rechazo. Un rechazo ocurre cuando los impactos adicionales de un martinete no dan como resultado un empotramiento adicional del pilote. Habitualmente, este es el resultado de golpear rocas o suelos cementosos y requiere un proceso de mitigación costoso que requiere mucha mano de obra. Los pilotes menos profundos se hincan, menos probable es que se encuentren con rocas o suelo cementoso.

Pasando a continuación a la Figura 2A, esta Figura muestra un seguidor de eje único como el de la Figura 1A, excepto que las cimentaciones de monopilotes se han reemplazado con múltiples cimentaciones con estructura en A o entramado alineados 200. Cada cimentación de entramado 200 consiste en un par de patas adyacentes 210 clavadas en el suelo en ángulos entre sí de modo que estén sustancialmente alineadas entre sí. En diversas realizaciones, las patas pueden tener un ángulo simétrico (por ejemplo, ± 60 grados) con respecto a la horizontal. En otros casos, pueden estar en ángulos algo diferentes debido a variaciones de pendiente y terreno y desalineación durante el enclavamiento. Las variaciones de superficie pueden dificultar la medición de las patas con respecto a la pendiente o una referencia horizontal. Por lo tanto, a lo largo de la divulgación, las cimentaciones con estructura en A o entramado se caracterizan en términos de su ángulo superior, aunque esto implica un ángulo de pata correspondiente.

En diversas realizaciones, las patas 210 se pueden golpear contra el suelo con un martinete, girarse en el suelo con un controlador giratorio, empujarse en el suelo o accionarse de otra forma. También, las patas 210 pueden consistir en un solo miembro o múltiples miembros interconectados que se extienden a lo largo de un eje único sustancialmente común. Las cimentaciones de entramado 200 se instalan a lo largo de una fila Norte-Sur a intervalos regulares especificados por el fabricante del seguidor. En este ejemplo de sistema, los extremos sobre el suelo de cada pata 210 están unidos por el adaptador 220. Como se muestra, el conjunto de cojinete 230 se asienta sobre el adaptador 220. El tubo de torsión 130 pasa ortogonalmente a través de cada conjunto de cojinete 230. Debería apreciarse que en otras realizaciones, y como se expone con más detalle en el presente documento, el conjunto de cojinete y el adaptador se pueden combinar en una sola estructura para reducir el recuento de piezas, coste y por otras razones.

La Figura 2B es una vista desde un extremo del sistema de seguidor 200 de la Figura 2A. Como se ve en esta Figura, el espacio libre entre los paneles y la base es más estrecho que en el caso de la disposición de monopilotes de las Figuras 1A y B debido a las patas en ángulo 210. Si el seguidor puede orientar los paneles hasta ± 60 grados, es posible que las patas deban estar separadas por un ángulo superior más pequeño para evitar interferencias. No es raro que el ángulo de los paneles en un tubo de torsión varíe a lo largo de su longitud

hasta en 5 grados debido a las tolerancias de flexión y fabricación, por lo que puede ser necesario un margen adicional de 5 grados para evitar interferencias.

La Figura 2C es un diagrama de fuerzas que muestra cómo se trasladan las cargas laterales en una cimentación de entramado o con estructura en A.

5 Como se expone en el presente documento, la arquitectura de entramado dirige las fuerzas laterales a lo largo del eje principal de cada miembro estructural en lugar de intentar doblarlos. Por lo general, la capacidad de carga de la columna de las patas es mucho mayor que las fuerzas de tracción y compresión generadas por las cargas laterales, por lo que la capacidad de carga no es el
10 factor limitante. En su lugar, una combinación de fricción superficial entre la superficie de pata y el suelo y la resistencia de los hilos ortogonales u otras características subterráneas controlarán la capacidad del entramado para resistir cargas laterales. Si se diseña correctamente, el modo de falla principal debería ser tirar hacia arriba de la pata de barlovento y hundir la pata de sotavento. Como
15 se ve en 2C, cuando carga lateral F_L golpea la matriz, las fuerzas se trasladan a las patas de entramado como tensión y compresión etiquetadas como T y C. Para que el entramado no falle, la suma de todas las fuerzas debe ser cero. En este caso, eso significa que la suma de las fuerzas en la dirección de la carga lateral, etiquetada con la dirección X en la Figura, debe ser cero. En otras
20 palabras, el componente X de la resistencia proporcionada por las patas a la carga lateral, etiquetado como $F_{T/C}$, debe ser equivalente a la carga lateral F_L . El valor real de estas fuerzas se verá también afectado por la carga vertical del peso del sistema de seguidor, que resistirá la tensión en la pata de barlovento y aumentará la compresión en la pata de sotavento, sin embargo, para fines de
25 comparación de ángulos, esa carga se ha ignorado. El componente X de las fuerzas resistivas $F_{T/C}$ es proporcional al coseno del ángulo de pata de entramado θ de acuerdo con la ecuación (1):

$$(1) F_L = 2F_{T/C} \cos(\theta).$$

Por lo tanto, la fuerza resistiva requerida para cada pata $F_{T/C}$ en respuesta a F_L es igual a $\frac{F_L}{2\cos(\theta)}$. A medida que θ se acerca a 90 grados, el $\cos(\theta)$ se acercará
30 a cero y la fuerza resistiva requerida $F_{T/C}$ en cada pata se acercará al infinito.

Como se ha descrito en los antecedentes anteriores, la solicitud '915 enseña un ejemplo de una cimentación con estructura en A o entramado utilizada para soportar un seguidor de eje único. La Figura 3A es una reproducción de la
35 cimentación descrita en la solicitud '915. El sistema 300 consiste en un par de

patas en ángulo 310, en este caso tornillos de tierra, unidas por encima del suelo por un puente de dos piezas que se sujeta al extremo de cada pata. Un conjunto de cojinete convencional 330 se atornilla al puente para completar el conjunto. La divulgación describe un intervalo para el ángulo superior α entre cada pata que está preferentemente entre 10 y 35 grados, y más preferentemente entre 15 y 25 grados. Estos intervalos para el ángulo α corresponden a las patas de entramado que están en ángulo en un intervalo de $\pm 72,5$ grados a ± 85 grados (asumiendo que son simétricas con respecto a la horizontal), y más preferentemente ángulos de patas de entramado θ de $\pm 77,5$ grados a $\pm 82,5$ grados. Las Figuras 3B y 3C son diagramas de fuerza que muestran la magnitud de la $F_{T/C}$ requerida en los ángulos de patas empinadas y los ángulos de vértice pequeños correspondientes sugeridos en la solicitud '915 para una carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras). Comenzando con 3B, el ángulo elegido α es de 25 grados correspondiente a un ángulo de pata $\theta = 77,5$ grados, el extremo superior del intervalo preferido para α especificado en la solicitud '915. La fuerza resistiva requerida en cada pata $F_{T/C}$ es igual a 2.619,5 kg (5.775 libras) o $1.133,98/2 (2.500/2) * \text{Coseno}(77,5)$. Aunque sigue por debajo de la capacidad de columna de la pata, esto da como resultado fuerzas axiales sustancialmente mayores que se deben resistir con la fricción superficial e hilos ortogonales. En la Figura 3C, el ángulo de vértice α se establece en 15 grados, correspondiente a un ángulo de pata θ de $\pm 82,5$ grados, el extremo inferior del intervalo preferido de la aplicación '915 para α . En este ángulo, suponiendo la misma carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras), $F_{T/C}$ aumenta a 4.343,6 kg (9.576 libras) o $1.133,98/2 (2.500/2) * \text{Coseno}(82,5)$, casi un aumento de cuatro veces. La Tabla 1 a continuación muestra la fuerza resistiva requerida en cada pata ($F_{T/C}$) para todo el intervalo de ángulos propuestos en la solicitud '915. La Figura 3D es un gráfico de la misma. La primera columna de la Tabla 1 es el ángulo de pata de entramado θ y varía de 72,5 grados a 82,5 grados en incrementos de medio grado. La segunda columna es el ángulo superior α entre las patas cuando se unen en el vértice para cada ángulo de pata dado y cambia en incrementos de un grado. La tercera columna son las fuerzas de tracción y compresión resultantes $F_{T/C}$ que debe generarse para resistir la carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras).

Tabla 1. Fuerza resistiva para un intervalo de ángulos en la solicitud '915.

Ángulo θ	Ángulo α	Fuerza $F_{T/C}$ (kg (libras))
72,5	35	1.885,58 (4.157)
73	34	1.939,11 (4.275)
73,5	33	1.996, 26 (4.401)
74	32	2.057,04 (4.535)
74,5	31	2.121,45 (4.677)
75	30	2.190,85 (4.830)
75,5	29	2.264,33 (4.992)
76	28	2.343,71 (5.167)
76,5	27	2.428,99 (5.355)
77	26	2.520,61 (5.557)
77,5	25	2.619,5 (5.775)
78	24	2.727 (6.012)
78,5	23	2.844, 02 (6.270)
79	22	2.971,48 (6.551)
79,5	21	3.111,19 (6.859)
80	20	3.264,96 (7.198)
80,5	19	3.435,51 (7.574)
81	18	3.624,66 (7.991)
81,5	17	3.836,03 (8.457)
82	16	4.074,17 (8.982)
82,5	15	4.344,05 (9.577)

Como muestran la Tabla 1 y el gráfico correspondiente en la Figura 3D, la fuerza resultante aumenta de forma no lineal en el intervalo de α propuesto en la solicitud '915, negando los beneficios de usar una cimentación con estructura en A o entramado. Para resistir las grandes fuerzas de tracción y compresión en estos ángulos de vértice poco profundos (ángulos de pata empinados), los componentes de entramado deben estar sobreconstruidos, clavados profundamente y/o incluir características ortogonales adicionales. Esto socavaría las ventajas que se pueden proporcionar al reemplazar los monopilotes con estructuras en A haciéndolos relativamente más costosos. Aunque no se indica, la interferencia del módulo con las patas puede ser una de las razones del intervalo de ángulos recomendado en la solicitud '915.

Pasando a continuación a la Figura 4A, esta Figura muestra una

cimentación de entramado 200 para un seguidor de eje único de acuerdo con diversas realizaciones a modo de ejemplo de la invención. El armazón a modo de ejemplo que se muestra aquí consiste en patas 210 adyacentes clavadas en el suelo para alinearse sustancialmente entre sí y a lo largo del tubo de torsión.

5 El significado de esto es que si las patas no están sustancialmente alineadas, es decir, sus respectivos ejes no se extienden sustancialmente al mismo lugar en el tubo de torsión, las cargas laterales introducirán un momento de torsión a la cimentación además de tensión y compresión. Este momento de torsión requerirá un refuerzo adicional del hardware del vértice para resistir estas fuerzas de torsión.

10 Esto se ve en la técnica anterior, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. n.º 9.207.000 (Friedrich), la patente '000). Las Figuras 11A y B, se reproducen a partir de la patente '000. El seguidor 350 tiene una cimentación en forma de A con patas 355A/B que soportan el tubo de torsión 370. El conjunto de cojinete
15 consiste en cojinetes respectivos 360A/B soldados a la parte superior de cada pata 355A/B para convertirlos en estructuras unitarias. Los cojinetes están encajados uno dentro del otro a lo largo del tubo de torsión 370 dando como resultado una geometría descentrada como se ve en la vista superior de 11B. Debido a que las patas 355A/B están desplazadas, es decir, no están
20 sustancialmente alineadas con respecto al tubo de torsión, o simétricas entre sí, las cargas laterales tenderán a torcer las patas, los cojinetes y el tubo de torsión. El seguidor 350 compensa esto colocando un cojinete dentro del otro, sin embargo, esto requiere un doble espesor de metal en el cojinete y que las patas sean más gruesas y/o más pesadas de lo que deberían ser si no se generara un
25 momento de torsión.

Volviendo al sistema de 4A, en este sistema, las patas 210 están unidas en la parte superior mediante el adaptador 220 de modo que estén sustancialmente alineadas entre sí y con el tubo de torsión. El conjunto de cojinete 230 se asienta sobre el adaptador 220. Como resultado de la alineación
30 de las patas, las cargas laterales darán como resultado fuerzas axiales solamente y ningún momento de torsión. También, en contraste con el entramado 300 de la Figura 3A, el entramado 200 de esta Figura está optimizado a un ángulo que limita significativamente las fuerzas de tracción y compresión, en este caso, un ángulo de vértice α de 60 grados y un ángulo de pata de 60
35 grados θ . Los efectos dramáticos de esto se muestran en el diagrama de fuerzas

de 4B. Suponiendo la misma carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras) que en los diagramas de fuerza de las Figuras 3B y 3C, las fuerzas $F_{T/C}$ en cada pata caen a 1.133,98 kg (2.500 libras) a 60 grados, o $1.133,98/2$ ($2.500/2$)* $\cos(60)$, una reducción del 57 por ciento sobre el ángulo de vértice de 25 grados (ángulo de pata de entramado de 77,5 grados) de la Figura 3B, y una asombrosa reducción del 74 por ciento sobre el ángulo de vértice de 15 grados (ángulo de pata de entramado de 82,5 grados) de la Figura 3C.

La Figura 4C es un diagrama de fuerzas que repite el análisis de la Figura 4B para un ángulo de vértice de 30 grados (ángulo de pata de entramado de 70 grados). Suponiendo la misma carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras), con las patas orientadas a 70 grados, el valor de la fuerza resistiva requerida en cada pata ($F_{T/C}$) aumenta a 1.657,43 kg (3.654 libras), o $1.133,98/2$ ($2.500/2$)* $\cos(70)$, una reducción del 37 por ciento sobre el ángulo de vértice de 25 grados (ángulo de entramado de 77,5 grados) de la Figura 3B y una reducción del 62 por ciento sobre el ángulo de vértice de 15 grados (ángulo de entramado de 82,5 grados) que se muestra en la Figura 3C. La Tabla 2 a continuación muestra la fuerza resistiva requerida en cada pata ($F_{T/C}$) para todo el intervalo de ángulos propuestos por los inventores de esa solicitud. La Figura 4D es un gráfico de los datos de la Tabla 2, así como los datos de la Tabla 1. La primera columna es el ángulo de pata de entramado θ y varía de 55 grados a 72,5 grados en incrementos de medio grado. La segunda columna es el vértice o ángulo superior entre las patas, α , y la tercera columna son las fuerzas de tracción y compresión resultantes $F_{T/C}$ que debe generarse para resistir la carga lateral de 1.133,98 kg (2.500 libras).

Tabla 2. Fuerza resistiva para un intervalo de ángulos de acuerdo con las realizaciones de la invención.

Ángulo θ	Ángulo α	Fuerza $F_{T/C}$ (kg (libras))
55	70	988,38 (2.179)
55,5	69	1.885,58 (2.207)
56	68	1.013,78 (2.235)
56,5	67	1.027,39 (2.265)
57	66	1.040,99 (2.295)
57,5	65	1.055,06 (2.326)
58	64	1.070,02 (2.359)
58,5	63	1.084,99 (2.392)

Ángulo θ	Ángulo α	Fuerza $F_{T/C}$ (kg (libras))
59	62	1.100,87 (2.427)
59,5	61	1.117,2 (2.463)
60	60	1.133,98 (2.500)
60,5	59	1.151,22 (2.538)
61	58	1.169,36 (2.578)
61,5	57	1.188,41 (2.620)
62	56	1.207,92 (2.663)
62,5	55	1.227,87 (2.707)
63	54	1.248,74 (2.753)
63,5	53	1.270,51 (2.801)
64	52	1.293,19 (2.851)
64,5	51	1.317,23 (2.904)
65	50	1.341,73 (2.958)
65,5	49	1.367,13 (3.014)
66	48	1.393,89 (3.073)
66,5	47	1.422,01 (3.135)
67	46	1.451,04 (3.199)
67,5	45	1.481,43 (3.266)
68	44	1.513,64 (3.337)
68,5	43	1.547,2 (3.411)
69	42	1.582,13 (3.488)
69,5	41	1.618,87 (3.569)
70	40	1.657,88 (3.655)
70,5	39	1.698,7 (3.745)
71	38	1.741,34 (3.839)
71,5	37	1.786,7 (3.939)
72	36	1.834,78 (4.045)
72,5	35	1.885,58 (4.157)

La Tabla 2 y el gráfico de combinación correspondiente en la Figura 4D muestran que la fuerza resultante aumenta de forma no lineal. El intervalo de ángulos propuesto en la solicitud '915 aumenta enormemente las fuerzas resistivas requeridas, negando los beneficios de usar una cimentación con

estructura en A o entramado. La línea horizontal trazada a 1.814,37 kg (4.000 libras) en la Figura 4D muestra el intervalo de ángulos de patas requeridos para limitar $F_{T/C}$ hasta 1.814,37 kg (4.000 libras) o menos. Para mantenerse por debajo de 1.814,37 kg (4.000 libras), el ángulo de pata θ debe ser inferior a 72,5 grados y el ángulo de vértice α debe ser superior a 35 grados. Para ángulos de vértice por debajo de este, o ángulos de patas de entramado por encima de este, las fuerzas de tracción y compresión comienzan a aumentar bruscamente, lo que tiene importantes consecuencias de impacto en los costes para el diseño del entramado. Por lo tanto, el intervalo de ángulos de vértice preferido es de 35 grados a 70 grados, correspondiente a un ángulo de pata por debajo de 72,5 grados. El ángulo de vértice ideal está por encima de 49 grados, lo que corresponde a un ángulo de pata por debajo de 65,5 grados. Los ángulos en estos intervalos mantendrán las fuerzas resultantes por debajo de 1.360,78 kg (3.000 libras).

Otra consideración en la selección del ángulo es el uso del material. Para una profundidad de empotramiento determinada, los ángulos más pronunciados requerirán menos material. Pasando a las Figuras 5A y 5B, estas figuras presentan dos escenarios que buscan lograr una altura de vértice de 1,22 m (cuatro pies), con la etiqueta H en las Figuras y 0,91 m (tres pies) de empotramiento para cada pata de entramado. Al establecer el lado opuesto del triángulo de entramado en 4, la altura deseada del vértice sobre el suelo, la hipotenusa (L_2) se puede resolver usando la ecuación (2):

$$(2) L_2 = 4 / \text{Sen}(\theta).$$

Para el supuesto de ángulo de pata de entramado y el vértice de 60 grados en la Figura 5A, esto da como resultado un valor para L_2 de 1,41 m (4,62 pies). Añadir 0,91 m (3 pies) a la longitud de empotramiento deseada, requiere una pata de 7,62 pies o aproximadamente 1935 mm de largo para un entramado de 60 grados. En la Figura 5B, el ángulo de vértice se reduce a 40 grados y el ángulo de pata de entramado aumenta a 70 grados.

En este caso, L_2 cae a 1,3 m (4,26 pies), $4 / \text{Sen}(70)$, resultando en una longitud de pata requerida de 7,26 pies o 1844 mm. Por lo tanto, puesto que entre los dos, ángulos más pronunciados se permiten utilizar patas más cortas, se reduce la cantidad de acero requerida. Sin embargo, como con las fuerzas resistivas requeridas, la tasa de cambio de la longitud de pata con un ángulo decreciente no es lineal y, como se ha señalado anteriormente, los ángulos de patas más

pronunciados (ángulos de vértice más estrechos) pueden requerir una mayor longitud de empotramiento para cada pata debido al aumento exponencial de las fuerzas $F_{T/C}$. La Tabla 3 a continuación muestra la longitud del pilote para varios ángulos de patas y vértices asumiendo una altura de vértice de 1,22 m (cuatro pies) y 0,91 m (tres pies) de longitud empotrada.

Tabla 3. Longitud de pata en función del ángulo del entramado.

Ángulo α	Ángulo θ	Longitud de pata
170	5	14,9 (48,89)
160	10	7,94 (26,04)
150	15	5,62 (18,45)
140	20	4,48 (14,70)
130	25	3,8 (12,46)
120	30	3,35 (11,00)
110	35	3,04 (9,97)
100	40	2,81 (9,22)
90	45	2,64 (8,66)
80	50	2,51 (8,22)
70	55	2,4 (7,88)
60	60	2,32 (7,62)
50	65	2,26 (7,41)
40	70	2,21 (7,26)
30	75	2,18 (7,14)
20	80	2,15 (7,06)
10	85	2,14 (7,02)
0	90	2,13 (7,00)

A medida que aumenta el ángulo de pata y disminuye el ángulo de vértice, la longitud de pata desciende al mínimo, la longitud en línea recta de 2,13 m (7 pies) en la que el entramado se convierte en un monopilote. A medida que se reduce el ángulo de pata y aumenta el ángulo de vértice, la longitud de pata comienza a aumentar ligeramente y luego despegga en ángulos por debajo de los 40 grados. Para casi todos los ángulos de patas por encima de 40 grados (ángulos de vértice por debajo de 100), hay relativamente poca variación en la longitud, $\approx 0,61$ m (2 pies) o 29 por ciento por encima del mínimo de 2,13 (7 pies). Para ángulos de pata de 55 grados o más, ángulos de vértice de 70 grados o

menos, hay menos de un 0,3 m (pie) de variación, o un 14 por ciento más que el mínimo. Por lo tanto, el ángulo de pata preferido desde la perspectiva del uso del material es uno que sea de al menos 40 grados e idealmente de 55 grados o más, correspondiente a un ángulo de vértice preferido de menos de 100 grados, e idealmente menos de 70 grados.

Tomados en conjunto, la información de las Tablas 1, 2 y 3 y las Figuras 3D, 4D y 5D muestran que existen intervalos óptimos para α y θ que equilibran los objetivos en competencia de minimizar $F_{T/C}$ contra la minimización del uso de material. Para el primer punto, el ángulo de vértice preferido α es de más de 35 grados hasta 70 grados, mientras que el intervalo ideal es de 55 a 60 grados, correspondiente a un ángulo de pata de entramado preferido θ de 55 a menos de 72,5 grados, con un intervalo ideal de 60 a 65 grados. Desde una perspectiva de uso de materiales, cualquier ángulo α por debajo de 100 grados o ángulo θ por encima de 40 grados es aceptable, pero se prefieren ángulos para α por debajo de 70 grados y ángulos θ por encima de 55 grados. Estos intervalos se superponen con el intervalo óptimo de los ángulos de vértice α y los ángulos de patas del entramado θ para minimizar $F_{T/C}$.

Con referencia a continuación a las Figuras 6A y 6B, estas figuras muestran una matriz de seguidor de eje único y una cimentación con estructura en A para una matriz de seguidor de eje único u otra matriz solar axial de acuerdo con diversas realizaciones de la invención. Como se ha descrito anteriormente en el contexto de las Figuras 2A y 2B, una posible desventaja de una cimentación de tipo estructura en A en relación con un pilote en H convencional es que, a medida que el tubo de torsión gira los paneles en ángulos pronunciados (más de ± 50 grados), las patas de las estructuras en A pueden interferir con los paneles. Esto podría requerir el uso de un ángulo de vértice más pequeño o un ángulo de pata más pronunciado para la estructura en A, como se enseña en la solicitud '915, pero esto no es óptimo debido al rápido y no lineal aumento del valor de $F_{T/C}$. Otra técnica de mitigación es limitar el intervalo de movimiento del seguidor, pero esto también es insostenible porque elimina la capacidad de cosechar la llamada "potencia del saliente" obtenida al principio y al final de cada día, cuando el sol sale o se pone hacia el horizonte. Los fabricantes de seguidores diseñan sus sistemas para aprovechar la potencia del saliente y anuncian esta función, por lo que limitar el giro del seguidor no es práctico desde una perspectiva empresarial.

Los inventores de esta divulgación han propuesto una solución que supera este problema sin limitar el intervalo de giro del tubo de torsión. La solución introduce un espacio en cada punto del tubo de torsión sobre uno de los cimentaciones con estructura en A (por ejemplo, en las ubicaciones de los cojinetes del tubo de torsión). Debido a que las patas de cada entramado definen un plano sustancialmente común orientado Este-Oeste, la cantidad de espacio requerida es poco más que el diámetro exterior de las propias patas o el espesor del conjunto de cojinete. De esta forma, el tubo de torsión puede girar a través de un intervalo completo de ángulos (hasta y más allá del ángulo de pata) y está limitado solo por la longitud del cable flojo que interconecta los módulos con los componentes no giratorios. Como ha observado, en 6B, con una pata de entramado de 60 grados y ángulos de vértice, el tubo de torsión puede girar los paneles hasta 70 grados o incluso más empinado sin interferencia.

Las Figuras restantes 7A-B, 8, 9 y 10 muestran diversos adaptadores de entramado y adaptadores de cojinetes que separan las patas en un ángulo de vértice en el intervalo deseado de más de 35 grados hasta 70 grados de acuerdo con diversas realizaciones de la invención. Comenzando con las Figuras 7A-B, estas Figuras muestran el adaptador 400 con una porción de cuerpo principal 410 y un par de porciones de conexión alineadas 415 que se extienden hacia abajo y alejándose de la porción de cuerpo principal 410 para acoplarse a las patas de entramado 210. Las porciones de conexión 415 son preferentemente simétricas, lo que significa que las líneas rectas a través de sus respectivos centros intersecarán en un punto común. El adaptador 400 podría admitir un seguidor de estilo ascendente o descendente. 7B Muestra el adaptador 400 unido a las patas superiores 212 mediante las porciones de conexión 415. En diversas realizaciones, las porciones de conexión 415 están orientadas de modo que las patas superiores 212 estén en ángulo entre sí en el vértice en un ángulo en un intervalo de más de 35 grados hasta 70 grados. En diversas realizaciones, el ajuste entre las porciones de conexión 415 y las patas superiores 212 permitirá el ajuste entre estas estructuras para permitir que la altura del adaptador con respecto a las patas superiores 212 se ajuste antes de conectarlo permanentemente a las patas superiores 212. Las líneas de puntos que se extienden a través del centro de cada pata 210 muestran que las porciones de conexión 415 están alineadas en la dirección vertical. Aunque no se muestra, una vista superior mostraría también que las líneas a través de sus respectivos

centros intersecan, mostrando que también están alineadas horizontalmente, es decir, Intersecándose sustancialmente en el mismo punto a lo largo del tubo de torsión. El seguidor que se muestra en 7B es un seguidor descendente, como el que se muestra en las Figuras 2C y D.

5 La Figura 8 muestra un adaptador de cojinete en forma de cardioide 500 específicamente adaptado para un seguidor de eje único descendente. Como se usa en esta divulgación y en las reivindicaciones, la expresión adaptador de cojinete se usa genéricamente para referirse a estructuras que combinan la función de un adaptador, es decir, unir las patas de la estructura en A para que
10 estén alineadas y en el ángulo correcto, y las funciones de un conjunto de cojinete, es decir, soportar el tubo de torsión y proporcionar un cojinete cilíndrico que recibe un miembro giratorio que sirve como eje de giro del seguidor. Los adaptadores de cojinetes no se limitan solo a los seguidores ascendente o solo a los seguidores descendente, sino que pueden adaptarse a cualquiera, como
15 se muestra y analiza con mayor detalle a continuación. El adaptador de cojinete 500 de la Figura 8 realiza al menos tres funciones. En primer lugar, unifica las patas adyacentes de la estructura en A para formar una estructura de entramado rígida. En segundo lugar, Proporciona una abertura de cojinete cilíndrica para un pasador de cojinete para colgar el tubo de torsión y un espacio libre para que
20 oscile a través de su arco de Este-Oeste mientras reduce el acero y los componentes necesarios para hacerlo. Por último, alinea las patas superiores 212 de modo que sus respectivos ejes estén alineados entre sí y el tubo de torsión establece el ángulo de vértice entre los mismos en un intervalo de más de 35 grados hasta 70 grados, e idealmente en un intervalo de 50 grados a 60
25 grados.

El adaptador de cojinete 500 está formado por una o más piezas de metal fundido. Debe apreciarse, sin embargo, que se pueden emplear otras técnicas de fabricación sin apartarse del espíritu o alcance de la invención. El mismo consiste en un aro en forma de cardioide 510 con cúspide 512 y brazos
30 simétricos en forma de S 520, ubicados a ambos lados de la cúspide 512. Los brazos en forma de S 520 terminan en porciones de conexión tubulares 517 respectivas. Los brazos en forma de S 520 sobresalen de la cúspide 515, se curvan después curva hacia dentro antes de curvarse hacia fuera para que coincidan con el ángulo y la separación de las patas de entramado (por ejemplo,
35 ± 60 grados). En diversas realizaciones, el ángulo deseado de la pata de

entramado θ y el ángulo de vértice α se conocerán de antemano y el adaptador de cojinete 500 se fabricará para establecer ese ángulo.

Las porciones de conexión 517 mostradas en el ejemplo de estas Figuras están dibujadas como tubos parciales. En diversas realizaciones, placas de cubierta separadas que también son tubulares podrán encajar sobre las patas superiores 212 de la estructura en A y coincidirán con las porciones de conexión 517 para capturar las patas superiores. Pernos, remaches u otros sujetadores mecánicos conocidos y sus equivalentes funcionales se pueden usar para asegurar las placas de cubierta a las porciones de conexión 517. Debe apreciarse que otras realizaciones pueden tener un tubo completo en el extremo de cada brazo 520 en forma de S que está dimensionado para recibir o encajar dentro de los extremos libres de cada pata superior adyacente 212, o una geometría completamente diferente. Tales modificaciones están dentro del alcance de las diversas realizaciones de la invención siempre que no socaven las funciones del adaptador. Una abertura de cojinete cilíndrica en la cúspide 512 recibe el pasador de cojinete del que está suspendido el tubo de torsión 130. Los brazos 135 del módulo acoplan los paneles solares (módulos fotovoltaicos) al tubo de torsión 130. Debido a que no se utiliza una cimentación de monopilote, no es necesario que los extremos de los miembros en forma de S 520 intersequen en una plataforma de montaje horizontal. Este diseño aprovecha de forma más eficaz la arquitectura de entramado y puede simplificar la instalación. Por ejemplo, si después de instalar cada par de patas de entramado adyacentes, el tubo de torsión o las secciones del tubo de torsión pueden colocarse en el suelo entre las patas de no conectadas adyacentes. Una vez que los adaptadores de cojinete, tal como el adaptador 500, se fijan al tubo de torsión 130 en ubicaciones apropiados, todo el tubo o las secciones del tubo se pueden elevar con una carretilla elevadora u otro equipo de modo que se puedan completar las conexiones individuales entre las patas adyacentes y sus adaptadores de cojinete respectivos.

Pasando ahora a la Figura 9, esta Figura muestra una vista de un extremo de un seguidor de eje único descendente y un adaptador de cojinete 600 para un seguidor de este tipo que une el entramado para formar una cimentación con estructura en A y alinea las patas de modo que estén separadas entre sí en el vértice por un ángulo α en un intervalo de más de 35 grados hasta 70 grados, e idealmente en un intervalo de 50 a 60 grados. El seguidor descendente podría

ser un sistema de seguidor equilibrado mecánicamente como el disponible en NEXTRACKER u otro seguidor descendente diferente de otro fabricante de seguidores. El adaptador de cojinete 600 proporciona la funcionalidad de los soportes de abrazadera del tubo de torsión convencionales (por ejemplo, elementos 124/126 en las Figuras 2C/2D) pero en un factor de forma optimizado para cimentaciones de entramado.

Empezando por la cimentación, como con aquellas que se muestran en conjunto con los otros adaptadores de entramado y adaptadores de cojinetes descritos en el presente documento, la misma consiste en patas 210 cada una formada por anclajes de tornillo 211 y patas superiores 212. Los anclajes de tornillo 211 se han girado en el suelo subyacente en ángulos recíprocos con respecto a la horizontal, en este ejemplo ± 68 grados para que estén separados en la parte superior por un ángulo α de 44 grados. En diversas realizaciones, cada anclaje de tornillo 211 tiene una forma de hilo en su extremo distal para ayudarlo a resistir las fuerzas axiales y mantenerlo encaminado durante su enclavamiento. La forma de rosca puede ser uniformemente ancha o puede tener una entrada cónica. La pata superior 212 está axialmente acoplada al extremo sobre el suelo de cada anclaje de tornillo 211 para formar una estructura en A parcial utilizando uno de los diversos métodos de unión descritos en el presente documento.

El adaptador de cojinetes 600 es como el adaptador de cojinetes 500 de la Figura 8, pero es tubular en lugar de moldeado. Las porciones de conexión 615 están conectadas a los extremos respectivos de cada pata superior 212 para completar la estructura en forma de A. En diversas realizaciones, un collarín, un pasador, un acoplador, un engarce o sus equivalentes funcionales se pueden utilizar para unir la segunda porción de conexión 615 a la segunda pata superior 212 después de que la primera porción de conexión 615 se haya conectado a la primera pata superior 212. El conjunto de bisagra y abrazadera que sostiene el tubo de torsión está soportado por el adaptador de cojinete 600 a través del pasador de cojinete 620 que se extiende a través de la abertura de cojinete cilíndrica en la sección de puente 610. Como en otros sistemas descendentes que se muestran en el presente documento, el conjunto de abrazadera sostiene el tubo de torsión y lo suspende de modo que pueda girar alrededor del pasador de cojinete 620. De forma adicional, en este sistema un par de pernos en U se colocan ahorcadas sobre el tubo de torsión para fijar el brazo de soporte del

módulo al tubo de torsión 130. Los módulos fotovoltaicos, conocidos también como paneles solares, se fijan después a lo largo del tubo de torsión 130 a cada brazo de soporte del módulo, con cada brazo uniendo los bordes de dos módulos adyacentes. En diversas realizaciones, la conexión entre el adaptador de cojinete 5 600 y las patas superiores 212 permitirá cierto ajuste angular y de altura relativo. En diversas realizaciones, la instalación del adaptador 600 que se muestra en la Figura 9 puede ser similar a la descrita en el contexto del adaptador de cojinete 500 de la Figura 8.

Pasando ahora a la Figura 10, esta Figura muestra el adaptador de cojinete 700 de acuerdo con diversas otras realizaciones de la invención. A 10 diferencia de los adaptadores de cojinetes que se muestran en las Figuras 8 y 9, el adaptador 700 está diseñado para un estilo de seguidor de eje único ascendente. Funcionalmente es equivalente al adaptador 500/600 porque alinea y conecta las patas de entramado para completar la estructura en A, proporciona 15 un cojinete cilíndrico para recibir un miembro giratorio, en este caso, el tubo de torsión y establece el ángulo de vértice en el intervalo deseado. Sin embargo, la geometría del adaptador 700 es diferente porque el cojinete recibe el tubo de torsión en lugar de una bisagra y, por lo tanto, no se requiere espacio libre para que el tubo de torsión gire a través de un arco.

20 El adaptador de cojinete 700 consiste en una porción de cuerpo inferior 710 con porciones de conexión alineadas 715 que se proyectan hacia abajo y se alejan de la porción de cuerpo inferior 710 para conectarse a las patas superiores 212. Al igual que con los adaptadores de diversas otras realizaciones, las porciones de conexión 715 están inclinadas hacia abajo y alejadas de la porción 25 de cuerpo inferior 710 de modo que las patas del entramado estén separadas entre sí por un ángulo α de más de 35 grados a 70 grados, y preferentemente de aproximadamente 50 a 60 grados. La porción de cuerpo inferior 710 tiene una sección transversal semicircular porque sirve como la mitad inferior de un cojinete cilíndrico. La porción superior 720 encaja sobre la porción de cuerpo inferior 710 a través de pestañas superiores que se asientan sobre las 30 correspondientes pestañas inferiores en la porción de cuerpo inferior 710. Pernos, tornillos, u otros sujetadores conocidos o sus equivalentes funcionales pueden asegurar la porción superior 720 a la porción de cuerpo inferior 710. En este ejemplo, el tubo de torsión 730 se muestra con una sección transversal en 35 caja. El mismo está rodeado por el inserto de cojinete 725 que, traslada el tubo

en caja a una forma de sección transversal circular para que coincida con el perfil del cojinete cilíndrico formado a partir de la unión de la porción superior 720 y la porción inferior 710. El adaptador de cojinete 700 está optimizado desde la perspectiva de uso del material para funcionar con una cimentación de entramado en forma de A uniendo las patas de la estructura en A, manteniéndolas al ángulo y separación deseados, y alineándolas entre sí. También proporciona un cojinete cilíndrico para que no se necesite un conjunto de cojinete separado.

Las realizaciones de las presentes invenciones no se limitan en ámbito a las realizaciones específicas descritas en el presente documento. De hecho, diversas modificaciones de las realizaciones de las presentes invenciones, además de las descritas en el presente documento, serán evidentes para los expertos en la materia a partir de la descripción anterior y de los dibujos adjuntos. Por tanto, dichas modificaciones están destinadas a caer dentro del ámbito de las siguientes reivindicaciones adjuntas. Además, aunque algunas de las realizaciones de la presente invención se han descrito en el presente documento en el contexto de una implementación particular en un entorno particular para una finalidad particular, los expertos en la materia reconocerán que su utilidad no se limita a la misma y que las realizaciones de las presentes invenciones se pueden implementar de forma beneficiosa en cualquier número de entornos para cualquier número de finalidades. Por consiguiente, las reivindicaciones que se exponen a continuación deben interpretarse a la vista del espíritu de las realizaciones de las presentes invenciones divulgadas en el presente documento.