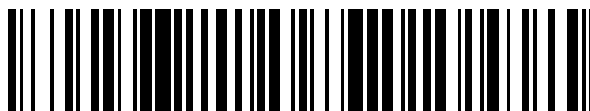


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 952 399**

51 Int. Cl.:

E04H 12/10 (2006.01)

E04C 3/04 (2006.01)

F03D 13/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2013 E 19167815 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023 EP 3527751**

54 Título: **Torre de celosía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.10.2023

73 Titular/es:

**SECCIONAL BRASIL SA (100.0%)
Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, 4225
Curitiba, Paraná, 81270-200, BR**

72 Inventor/es:

**ABREU, PAULO EMMANUEL DE y
AMARANTE, ODILON ANTONIO CAMARGO DO**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 952 399 T3

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

DESCRIPCIÓN

Torre de celosía

5 **Campo técnico**

Esta invención se refiere a una torre de celosía para actuar en condiciones de alta carga, más particularmente, a torres de celosía utilizadas para turbinas eólicas.

10 **Antecedentes de la técnica**

Las estructuras verticales para soportar cargas elevadas tales como torres o similares utilizadas para soportar turbinas eólicas, líneas de transmisión de energía y otras aplicaciones son bien conocidas en la técnica anterior. Los diseños estructurales, los componentes y los materiales de dichas estructuras verticales varían según la aplicación.

15 Un tipo de estructura vertical que está recibiendo especial atención en las últimas décadas son las estructuras verticales para turbinas eólicas u otras cargas elevadas.

20 La energía eólica se ha convertido en una fuente de energía muy atractiva, tanto por un aumento en la eficiencia de los generadores como por un aumento en la demanda del mercado de fuentes de energía limpias y renovables. El aumento de la eficiencia de los generadores de energía eólica está relacionado con un gran esfuerzo en mejorar varios aspectos de la tecnología, incluidos muchos problemas relacionados con el diseño y la fabricación de los componentes del generador de energía eólica, incluidos, entre otros, las palas de rotor, el generador eléctrico, la torre y los sistemas de control.

25 La mayoría de las turbinas eólicas utilizadas en aplicaciones de megavatios, actualmente oscilando en el intervalo de aproximadamente 1 MW a 5 MW, tienen una configuración de turbina eólica de eje horizontal (HAWT) con un árbol de rotor principal y un generador eléctrico en la parte superior de una torre, y el eje del rotor dirigido hacia la entrada del viento con tres palas colocadas contra el viento.

30 La principal ventaja del diseño contra el viento es evitar la sombra del viento y la turbulencia resultante detrás de la torre. En la actualidad, la mayoría de las turbinas eólicas a gran escala adoptan el diseño contra el viento; sin embargo, este diseño tiene varios inconvenientes, tal como la necesidad de cierta distancia entre la torre y las palas debido a la flexión de las palas y la necesidad de un mecanismo de guiñada para mantener el rotor de cara al viento.

35 El mecanismo de guiñada normalmente tiene un sensor de viento asociado por un controlador electrónico a una unidad de guiñada, que incluye uno o más motores hidráulicos o eléctricos y una gran caja de cambios para aumentar el par, así como un cojinete de guiñada. El cojinete de guiñada proporciona una conexión giratoria entre la torre y la góndola de las turbinas eólicas. El mecanismo de guiñada generalmente incluye componentes adicionales, tales como frenos que funcionan en cooperación con los motores hidráulicos o eléctricos para evitar el desgaste y las altas cargas de fatiga en los componentes de la turbina eólica debido a la holgura durante la orientación del rotor según la dirección del viento. Dado que la turbina eólica suele tener cables que transportan la corriente eléctrica desde el generador eléctrico a través de la torre, el cable puede torcerse debido a la rotación del mecanismo de guiñada. Por lo tanto, la turbina eólica puede estar equipada con un contador de torsión de cable que está asociado con el controlador electrónico del mecanismo de guiñada para determinar la necesidad de desenroscar los cables por el mecanismo de guiñada.

40 El diseño a favor del viento, por el cual el rotor se coloca en el lado de sotavento desde donde sopla el viento en torre, en principio evitaría la necesidad de un mecanismo de guiñada si el rotor y la góndola tienen un diseño adecuado que hace que la góndola siga el viento de forma pasiva, utilizando la fuerza del viento para ajustar naturalmente la orientación de la turbina eólica en relación con el viento. Esta ventaja teórica es dudosa en turbinas eólicas de grandes megavatios porque normalmente sigue siendo necesario desenroscar los cables si el rotor gira continuamente en la misma dirección. Además, existen problemas mecánicos como la fatiga de los componentes debido a las fuertes cargas resultantes de los cambios bruscos de la dirección del viento. No obstante, el diseño a favor del viento sigue presentando una importante ventaja con respecto a la dinámica estructural de la máquina, permitiendo un mejor equilibrado del rotor y la torre. En el caso de rotores de turbinas eólicas mayores, que hoy en día tienen un diámetro que alcanza unos 120 metros (alrededor de 393,6 pies) o más, obtener más flexibilidad en el diseño de las palas del rotor es fundamental.

50 Sin embargo, el aumento del diámetro del rotor suele implicar rotores más pesados y el aumento de la altura de la torre, por consiguiente, puede implicar el uso de material adicional, por ejemplo, acero, para la fabricación de la torre.

55 Por lo tanto, como una torre suele representar entre un quince y un treinta por ciento del coste del generador de energía eólica, existe una gran necesidad de obtener torres más altas y más robustas a costes más bajos.

65 La mayoría de las grandes turbinas eólicas fabricadas en las últimas dos décadas con una potencia de salida superior

a un megavatio adoptan torres de acero tubular, comúnmente denominados "monopolos", como la opción preferida. Los monopolos generalmente se estrechan desde la base hacia la parte superior o cerca de la parte superior, que tienen módulos conectados entre sí con bridas atornilladas. Una restricción relacionada con los monopolos son las limitaciones del transporte por carretera que restringen el diámetro de los segmentos. Por ejemplo, los segmentos tubulares con diámetros superiores a unos 4 metros (alrededor de 13 pies) no pueden transportarse por carretera en muchos países.

Las torres de celosía generalmente necesitan menos material (por ejemplo, menos acero) que los monopolos, pero requieren un mayor número de componentes y conexiones atornilladas. Estas conexiones atornilladas están sujetas a las diferentes cargas de fatiga, por lo tanto, tienen la desventaja de mayores necesidades de mantenimiento.

Se describen torres de celosía, por ejemplo, en los documentos DE 20 2009 005514 U1, US 2009/249707 A1 y WO 2012/042309 A1, en donde el documento DE 20 2009 005514 U1 desvela una torre de celosía de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación independiente 1.

Problema técnico

Un problema técnico particular con respecto a las estructuras verticales tales como torres o similares utilizadas para soportar grandes generadores de turbinas eólicas es la falta de equilibrio entre la distribución de esfuerzos y las deformaciones de los vectores de carga verticales y horizontales a lo largo de la extensión de la estructura vertical. Debido a esta falta de equilibrio, los segmentos de la torre se diseñan con pérdidas importantes de materiales en algunos segmentos o con conjuntos que resultan en requisitos de fabricación, transporte e instalaciones complejas.

Otros problemas a considerar son las bajas frecuencias naturales de los modos de flexión y torsión, y el nivel de vibración y trepidación que el viento provoca en la torre.

Del mismo modo, independientemente del diseño contra el viento o a favor del viento, si el eje del rotor no está posicionado sustancialmente en la dirección de entrada del viento, se produce el llamado ángulo de error de guiñada, causando una fracción más baja de la energía en el viento que fluye a través del área del rotor. En general, la fracción de potencia perdida es proporcional al coseno del ángulo de error de guiñada. Asimismo, el error de guiñada provoca un mayor par de flexión en la parte del rotor que está más cerca de la fuente del viento, lo que da como resultado una tendencia del rotor a girar contra el viento y las palas se doblan hacia adelante y hacia atrás en una dirección de aleta (o plano) para cada vuelta del rotor. Por lo tanto, por un lado, una adecuada alineación del rotor de la turbina eólica en relación con el viento es fundamental para obtener un buen rendimiento de extracción de energía eólica y un bajo desgaste de los componentes de la turbina eólica, mientras que, por otro lado, existe la necesidad de un mecanismo de guiñada de bajo coste con las ventajas del diseño a favor del viento.

Solución técnica

Para superar los inconvenientes y los problemas descritos anteriormente y otras desventajas no mencionadas en este documento, de acuerdo con los fines de la invención, como se describe a continuación, la presente invención está dirigida a una torre de celosía de acuerdo con la reivindicación 1, para actuar en condiciones de alta carga.

Efectos ventajosos

La presente invención tiene varias ventajas sobre la técnica anterior. En comparación con las estructuras verticales de la técnica anterior, la presente invención permite una sorprendente reducción en el peso de la estructura metálica de alrededor del 40 %, en función de los requisitos de diseño del caso. Una de las razones de tan expresiva reducción en el peso total de la estructura es que cada pata de la estructura vertical tiene un comportamiento de tensión y deformación similar a un monopolo, sin tener las restricciones del gran diámetro de las estructuras verticales monopolares. La reducción del peso de la estructura metálica va acompañada de una ventajosa reducción de los costes totales de la estructura, incluyendo los costes de fabricación, transporte e instalación.

La ventaja de la reducción de peso va acompañada de ventajas adicionales de fabricación, transporte e instalación, así como la disponibilidad de una nueva clase de estructuras verticales para aplicaciones altas y críticas, tal como turbinas de energía eólica con una potencia de salida superior a 3 MW con torres de más de 100 metros (más de 328 pies).

Además, otro aspecto de una realización de la invención permite la alineación vertical y horizontal del rotor, sin necesidad constante de toda la fuerza del mecanismo de guiñada, mientras que también absorbe y proporciona un efecto de amortiguación para ráfagas de viento o vientos extremos.

Además, otro aspecto de una realización de la invención proporciona una plataforma grande en relación con el tamaño de una góndola estándar que permite el uso de un diseño de torre alternativo con poco viento de sombra y turbulencia para la aplicación a favor del viento, dando como resultado una flexibilidad significativa en el diseño de las palas, reduciendo sustancialmente los costes y mejorando el rendimiento.

Descripción de los dibujos

- 5 Lo anterior y otros aspectos y/o ventajas de ejemplo se harán más evidentes describiendo en detalle realizaciones de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala. En los dibujos, algunos componentes idénticos o casi idénticos que se ilustran en diversas figuras pueden representarse mediante una numeración correspondiente. Por motivos de claridad, no cada componente puede etiquetarse en cada dibujo.
- 10 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un ejemplo de torre de celosía para soportar cargas.
- La figura 2A es una vista lateral de un ejemplo de una torre de celosía de acuerdo con una realización de esta invención.
- 15 La figura 2B es una vista detallada parcial de la inclinación en ángulos β_1 y β_2 de los elementos de arriostramiento en relación con el eje central de cada una de las patas de la torre de celosía, de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 3A es una vista superior de la torre de celosía, de acuerdo con una realización de esta invención.
- 20 La figura 3B es una vista inferior de la torre de celosía, de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 4 es una vista esquemática parcial exagerada de la inclinación entre los ejes longitudinales centrales, el eje vertical de la torre y la conicidad de la pata, de acuerdo con una realización de esta invención.
- 25 La figura 5A es una vista lateral de un ejemplo de una torre de celosía de acuerdo con una realización de esta invención, sirviendo de referencia para mostrar las diferentes configuraciones de las secciones transversales de las patas de la torre a lo largo de su altura.
- 30 La figura 5B es una vista en sección transversal de las patas a lo largo de la tercera porción de la torre de celosía (con la inclinación y la conicidad exageradas, así como no a escala), de acuerdo con una realización de esta invención.
- 35 La figura 5C es una vista esquemática parcial de la pata a lo largo de la longitud de la tercera porción de la torre de celosía (con la inclinación y la conicidad exageradas, así como no a escala), de acuerdo con una realización de esta invención.
- 40 La figura 5D es una vista en sección transversal de las patas a lo largo de la longitud de la segunda porción de la torre de celosía (con la inclinación y la conicidad ampliadas y sin escala), de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 5E es una vista esquemática parcial de la pata a lo largo de la longitud de la segunda porción de la torre de celosía (con la inclinación y la conicidad exageradas, así como no a escala), de acuerdo con una realización de esta invención.
- 45 La figura 5F es una sección transversal de las patas a lo largo de la longitud de la primera porción de la torre de celosía (con la inclinación y la conicidad ampliadas y sin escala), de acuerdo con una realización de esta invención.
- 50 La figura 5G es una vista esquemática parcial de la pata a lo largo de la longitud de la primera porción de la torre de celosía (con la inclinación y la conicidad exageradas, así como no a escala), de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 6A es una vista de una forma de sección transversal poligonal de ejemplo de acuerdo con una realización de esta invención.
- 55 La figura 6B es una vista de una forma de sección transversal de perfil de red reducido a modo de ejemplo y carenado de acuerdo con una realización de esta invención.
- 60 La figura 7 es una vista detallada de un ejemplo de conexión de los módulos de la longitud de la torre de celosía, de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 8 es una vista en perspectiva de la plataforma de soporte con interfaz tubular interior para realizar una función similar a la técnica actual para góndolas alargadas, de acuerdo con una realización de esta invención.
- 65 La figura 9 es una vista lateral de la plataforma de soporte con interfaz tubular interior, de acuerdo con una realización de esta invención.

- La figura 10 es una vista frontal de la plataforma de soporte con interfaz tubular interna, de acuerdo con una realización de esta invención.
- 5 La figura 11 es una vista posterior de la plataforma de soporte con interfaz tubular interna, de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 12 es una vista en planta de la plataforma de soporte con una interfaz tubular interior para paso de cables de acuerdo con una realización de esta invención.
- 10 La figura 13A es una vista en perspectiva de un ejemplo de una torre de celosía con plataforma de soporte con interfaz tubular interna relacionada con una turbina de energía eólica, de acuerdo con una realización de esta invención.
- 15 La figura 13B es también una vista en perspectiva del modelo sólido de un ejemplo de una torre de celosía con plataforma de soporte con interfaz tubular interna relacionada con una turbina de energía eólica, de acuerdo con una realización de esta invención.
- La figura 14 es una vista frontal de un ejemplo de una torre de celosía con plataforma de soporte con interfaz tubular interna relacionada con una turbina de energía eólica, de acuerdo con una realización de esta invención.
- 20 La figura 15A es una vista lateral de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con góndola alargada.
- La figura 15B es una vista lateral de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina a favor del viento con góndola alargada.
- 25 La figura 16A es una vista lateral de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con góndola alargada.
- 30 La figura 16B es una vista lateral de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina a favor del viento con góndola alargada.
- La figura 17A es una vista superior de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con una góndola alargada.
- 35 La figura 17B es una vista superior de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con góndola alargada, girado 90° con respecto a la configuración de la figura 17A.
- 40 La figura 17C es una vista superior de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con góndola alargada, girado 180 ° con respecto a la configuración de la figura 17A.
- La figura 18A es una vista superior de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con una góndola alargada.
- 45 La figura 18B es una vista superior de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con góndola alargada, girado 90° con respecto a la configuración de la figura 18A.
- 50 La figura 18C es una vista superior de un ejemplo de una realización de esta invención en la que la carga es un conjunto de turbina contra el viento con góndola alargada, girado 180 ° con respecto a la configuración de la figura 18A.
- 55 Las figuras 19A y 19B muestran la Tabla I correspondiente a la hoja de cálculo de dimensionamiento de una torre en acero solo según una realización de la presente invención.
- Las figuras 20A y 20B muestran la Tabla II correspondiente a la hoja de cálculo de dimensionamiento de una torre en acero reforzado con hormigón según una realización de la presente invención.
- 60 La figura 21 muestra en la Tabla III el sumario de la comparación entre tres torres: la torre monotubular, la torre de celosía en acero, y la torre de celosía en acero reforzado con hormigón.

Explicación de las letras y números

Números	Explicación de los números
10	Torre de celosía
11	Patas metálicas
12	Eje vertical de la torre
13	Elementos de arriostramiento
13a	Elementos de arriostramiento auxiliares
14	Plataforma de soporte
16	Eje longitudinal central
17a	Porción superior (de la torre de celosía ensamblada)
17b	Porción de base (de la torre de celosía ensamblada)
18	Brida de enlace
20	Módulo
21a	Primera porción
21b	Primeras patas
22a	Segunda porción
22b	Segundas patas
23a	Tercera porción
23b	Terceras patas
24	Distancia de separación contra el viento
25	Distancia de separación a favor del viento
26	Canal con banda reducida
27	Perfil aerodinámico alargado
30a	Una primera pata de sección transversal troncocónica
30b	Porción inferior de la primera pata
30c	Porción superior de la primera pata
31a	Una tercera pata de sección transversal troncocónica
31b	Porción superior de la tercera pata
31c	Porción inferior de la tercera pata
40	Plataforma de soporte con interfaz tubular interna
41	Pata de plataforma
42	Interfaz tubular interna
43	Estructura de soporte del mecanismo de guiñada
44	Palas de rotor
45	Generador eléctrico
46	Cuerpo
47	Superficie superior
48	Superficie inferior
49	Pista circular
50	Mecanismo de rotación de guiñada
51	Primer eje que es perpendicular a la superficie superior de la plataforma
52	Larguero de la plataforma de soporte de la turbina
53	Primer marco de la plataforma de soporte de la turbina de extremo
54	Segundo marco de la plataforma de soporte de la turbina de extremo
55	Segundo eje que es perpendicular al primer eje
56	Turbina de energía eólica con góndola alargada
57	Actuador de guiñada
58	Ruedas
58a	Elemento amortiguador
60	Dirección del viento
61	Interfaz
61a	Segunda interfaz
63	Caja de engranajes
64	Pasaje para cables
65	Árbol
66	Mecanismo enrollador

Descripción detallada de la invención**Modos de la invención**

- 5 A continuación, realizaciones de ejemplo se describirán con referencia a los dibujos adjuntos. Los números de referencia similares en los dibujos indican elementos similares. Aunque se han descrito realizaciones ilustrativas en el presente documento, no deben interpretarse como limitadas a las descripciones específicas expuestas en el presente documento; más bien, estas realizaciones se proporcionan de manera que esta divulgación sea amplia y completa.
- 10 En los dibujos, los tamaños de los componentes pueden exagerarse o hacerse más pequeños para mayor claridad.

La fraseología y la terminología usadas en el presente documento se utilizan por motivos descriptivos y no deben entenderse como una limitación. El uso de "que incluye", "que comprende", "que tiene", "que contiene" o "que implica", y variaciones de los mismos utilizados en esta descripción, pretende abarcar los elementos enumerados a partir de entonces y los equivalentes de estos, así como los elementos adicionales. Las dimensiones que se enumeran en el presente documento son meramente ilustrativas y se pueden usar otras dimensiones junto con las realizaciones de ejemplo como comprenderá un experto en la técnica.

La figura 1, que está a una escala aproximada, muestra una vista en perspectiva de una torre de celosía 10 de ejemplo, de más de 60 metros (alrededor de 197 pies). La torre de celosía 10 está formada por tres patas metálicas 11, configuradas en carcasas metálicas, las cuales tienen su eje longitudinal central 16 inclinado con respecto al eje vertical 12 de la torre de celosía 10. En los cimientos, en la porción de base 17b, las tres patas 11 están dispuestas en una configuración triangular equilátera alrededor del eje vertical 12 de la torre, en una distancia mayor a 4 metros medidos entre los centros 16 de cada pata de la torre de celosía 10. Las patas metálicas 11 tienen una sección transversal sustancialmente circular y cerrada y están conectadas entre sí a lo largo de la altura de la estructura de la torre de celosía 10 por una pluralidad de elementos de arriostamiento 13 y elementos de arriostamiento auxiliares 13a que están dispuestos en diagonal y horizontalmente, respectivamente. Una plataforma de soporte 14 está dispuesta en la parte superior 17a de la torre de celosía 10 que sirve como interfaz para soportar una turbina de energía eólica.

La figura 2A es una vista lateral de un ejemplo de realización de la invención que muestra la silueta (el perfil vertical) de la torre de celosía 10 en la que sus patas metálicas 11 están divididas en tres porciones: una primera porción 21a, una segunda porción 22a y una tercera porción 23a. La primera porción 21a y la tercera porción 23a tienen dos formas troncocónicas circulares rectas invertidas que están interconectadas, en sus extremos estrechos, por la segunda porción 22a que tiene forma cilíndrica de menor diámetro. Todas las porciones están alineadas a través de su eje longitudinal central 16.

La figura 2A muestra también una pluralidad de elementos de arriostamiento 13 y elementos de arriostamiento auxiliares 13a, dispuestos en diagonal y horizontalmente, respectivamente, y unidos a las patas metálicas 11 de la torre de celosía 10 a intervalos regulares a lo largo de las patas metálicas 11, que tienen la función de proporcionar resistencia al desplazamiento lateral y/o rotacional para rigidizar la torre de celosía 10. La construcción de dichos elementos de arriostamiento 13, especialmente los diagonales que se construyen en el interior de la torre de celosía 10 en forma de X, se componen en una configuración inclinada en un ángulo β_1 y β_2 con respecto al eje longitudinal central 16 de cada pata metálica 11, como se representa en la figura 2B. Aunque los ángulos β_1 y β_2 no son necesariamente idénticos y pueden variar según la posición del elemento de arriostamiento 13 a lo largo de la altura de la torre de celosía 10, dichos ángulos tienen valores entre unos 30 y 60 grados, preferiblemente de aproximadamente 45 grados. La vista lateral mostrada en la figura 2A, ilustra también las tres patas metálicas 11 de la torre de celosía 10 donde las patas metálicas están divididas en tres porciones a lo largo de su longitud, cada porción formada por al menos un módulo o módulo 20. Esta división es según el montaje de la torre considerando sus porciones troncocónicas invertidas y su porción cilíndrica, así como también pretende proporcionar una mejor comprensión de su función de diseño, como se ha descrito previamente.

La primera porción 21a está formada por tres primeras patas 21b, la segunda porción 22a que está formada por segundas patas 22b, cada segunda pata 22b está alineada linealmente y acoplada a una primera pata 21b correspondiente de la primera porción 21a. Una tercera porción 23a incluye tres terceras patas 23b, cada tercera pata 23b está alineada linealmente y acoplada a una segunda pata 22b correspondiente de la segunda porción 22a.

La figura 3A es una vista superior de la torre de celosía, de acuerdo con una realización de esta invención, lo que ayuda a entender la forma de tres patas metálicas 11 que tienen dos formas troncocónicas circulares rectas invertidas que están interconectadas, en sus extremos estrechos.

Como se representa en la figura 3B, las tres patas metálicas 11 están dispuestas simétricamente en ángulos iguales alrededor de un eje vertical de la torre 12 y con distancias "d" iguales entre sí, en una configuración triangular, preferiblemente en una configuración equilátera. Con el tiempo, pequeñas variaciones debidas al dimensionamiento geométrico y tolerancias que puedan ser consideradas para el montaje, por ejemplo, debido a limitaciones de fabricación o terreno y cimientos. La distancia "d" entre los ejes longitudinales centrales 16 de cada pata en la parte inferior 17b de la base de la torre de celosía cuando está fijada al suelo, es mayor de 4 metros (alrededor de 13,12 pies).

La figura 4 es una vista esquemática parcial de la inclinación entre el eje longitudinal central y el eje vertical de la torre, de acuerdo con una realización de esta invención. La escala de esta vista se ha exagerado para mayor claridad. En el ejemplo, el eje longitudinal central 16 de cada pata metálica 11 puede inclinarse hasta un ángulo (θ) de 1,7 grados con respecto al eje vertical de la torre de celosía 10 y alrededor del eje longitudinal central 16 de acuerdo con las características de carga a que se destina para aplicaciones de turbinas eólicas.

Adicionalmente, la torre de celosía 10 está configurada para proporcionar un aspecto general del perfil vertical (silueta) donde en una escala exagerada la torre tendría una forma de reloj de arena que define la parte inferior de la torre

relativamente ancha en su extremo inferior (distancia "Ab" en la porción de base 17b) y relativamente estrecha en su extremo superior (distancia "At" en la porción superior 17b), tal como se representa en la figura 4, pero, de hecho, en una escala real, el aspecto general del perfil vertical (silueta) parecería ser linealmente vertical en ángulo recto. Además, como se muestra en la figura 04, la distancia "At" es, preferentemente, inferior a la distancia "Ab".

5 La configuración de la torre mostrada en la figura 4, es adecuada para asegurar una adecuada distribución de los esfuerzos que se producen al cargar la torre de celosía 10 una vez que este tipo de silueta permite reforzar la porción superior 23a de las patas metálicas 11 con diámetros y espesores mayores a los que normalmente se encuentran en el estado de la técnica. También, esta configuración permite un doble efecto en términos de estructura ya que aumenta la resistencia y la frecuencia natural de la torre y al mismo tiempo reduce sus costes de fabricación, transporte e instalación. Además, las porciones 22a y 23a, como se representa en la figura 2A, son especialmente adecuadas para reducir la turbulencia aerodinámica en la zona de paso de las palas del rotor, permitiendo el uso de una configuración a favor del viento como se muestra en la figura 16B. El diseño a favor del viento, como se muestra en la figura 16B, es muy ventajoso porque la holgura 24 no es un problema mientras la pala 44 se dobla desviándose de la torre de celosía 10 en esta condición de viento.

En el caso del diseño contra el viento, como se muestra en la figura 15A, como la torre es mucho más fuerte que las torres convencionales, es posible aumentar la distancia de separación contra el viento 24 reduciendo la posibilidad de que una pala del rotor golpee la torre.

20 El diseño de la torre de celosía 10 está hecho para soportar cargas dinámicas en la plataforma de soporte 14 en la parte superior de la torre 17a que provocan fuerzas de reacción y momentos en una porción de base 17b de la torre de celosía 10, que sea superior a 10 (diez) veces mayor que las fuerzas y momentos de reacción provocados por las cargas de viento sobre la propia torre de celosía.

25 Como referencia y como ejemplo, un turbina eólica a gran escala disponible comercialmente con una potencia nominal de 7,58 MW tiene un peso aproximado de los cimientos de la torre de la turbina eólica de unas 2.500 toneladas, la torre en sí 2.800 toneladas, la máquina que aloja 128 toneladas, el generador 220 toneladas, y el rotor (incluida la pala) 364 toneladas. En consecuencia, las cargas dinámicas sobre la plataforma de soporte provocadas por el generador y el rotor son muy superiores a las cargas máximas de viento impuestas específicamente en la propia torre. Normalmente, una torre para soportar solo antenas de telecomunicaciones estándar estaría sujeta a cargas completamente diferentes, porque en este caso las cargas de viento en la torre suelen ser más altas que las cargas causadas por las antenas de telecomunicaciones en la parte superior de la torre.

30 Las patas metálicas 11 están diseñadas en porciones troncocónicas en la primera porción 21a y en la segunda porción 23a, y en porción cilíndrica en la segunda porción 22a para que la variación del diámetro sea suave en toda la longitud de las patas metálicas 11 evitando discontinuidades que puedan causar zonas de concentración de tensiones que también pueden causar burbujas de aire durante el hormigonado, en caso de adoptar combinaciones de diferentes materiales en la construcción de las patas metálicas 11.

40 Adicionalmente, la conicidad de la envolvente del eje de la columna de la torre de celosía 10 es preferiblemente constante y también puede ajustarse para compensar la conicidad variable de las patas metálicas 11, resultando en elementos de arriostramiento 13 que son idénticos, con la misma longitud, diámetro y espesor en toda la altura de la torre de celosía 10. Esta posibilidad permite estandarizar la longitud de dichos elementos de arriostramiento, reduciendo el coste de su producción y facilitando el montaje en obra una vez, entre otras ventajas, no será necesario numerarlas.

50 La figura 5A es una vista lateral de un ejemplo de una torre de celosía 10 de acuerdo con una realización de esta invención, sirviendo de referencia para mostrar de forma esquemática las diferentes configuraciones de las secciones transversales de las patas de la torre a lo largo de su altura H. De acuerdo con la invención la invención, el diámetro exterior "D" al espesor "t" y la relación (D/t) de cada pata metálica 11 es superior a 30.

Las figuras 5B, 5D y 5F son vistas de la sección transversal de las patas a lo largo de las porciones de la torre de celosía 10, dichas secciones transversales son secciones cerradas, de acuerdo con una realización de esta invención.

55 Como se muestra en las figuras 5B y 5C, adaptadas esquemáticamente, preferentemente una de las terceras patas 23b tiene también una sección transversal troncocónica 31a y una porción superior 31b al menos una tercera pata 23b tiene un diámetro mayor que la porción inferior 31c de al menos una tercera pata 23b.

60 La segunda porción 22a está formada por segundas patas 22b que tienen una estructura cilíndrica, como se ha ilustrado esquemáticamente en las figuras 5D y 5E. De este modo, el diámetro de cada respectiva tercera pata 23b de la tercera porción 23a es mayor que el diámetro de cada respectiva segunda pata 22b en la segunda porción 22a.

65 Adicionalmente, como se muestra esquemáticamente en las figuras 5F y 5G, preferentemente al menos una de las primeras patas 21b tiene una sección transversal troncocónica 30a y una porción inferior 30b de al menos una primera pata 21b tiene un diámetro mayor que una porción superior 31b de la al menos una primera pata 21b.

Preferentemente, las patas metálicas 11 tienen una sección transversal cerrada circular como se muestra en las figuras 5B, 5D y 5F. Como alternativa, las patas metálicas 11 también pueden diseñarse en una forma que tenga, por ejemplo, una forma de sección transversal poligonal siempre que un carenado aerodinámico, siempre que se mantenga la forma troncocónica, como se representa en la figura 6A.

La forma de la sección transversal poligonal se muestra en la figura 6A como que es, preferentemente al menos un dodecágono, pero se entiende que podría adoptar otras formas poligonales, tal como un tridecágono, tetradecágono, etc., de acuerdo con la construcción adecuada.

La figura 6B ilustra otro ejemplo de realizaciones de forma de sección transversal, preferiblemente utilizado como perfil para los elementos de arriostamiento 13 y los elementos de arriostamiento auxiliares 13a, en el que una sección de canal con banda reducida 26 está cubierta por un carenado con un perfil aerodinámico oblongo 27. La función del carenado es cubrir la sección del canal, de manera que dicho perfil de sección permanece cerrado, mejorando el comportamiento aerodinámico de la sección metálica con un material de bajo coste y fácil formación, tal como polímeros, materiales compuestos, u otros materiales, como se representa en la figura 6B. El carenado está diseñado para minimizar las turbulencias causadas por el viento y puede diseñarse, como alternativa, por ejemplo, en otras formas aerodinámicas adecuadas, que también puede incluir hoyuelos u ondas (no mostrados en la figura 6B) en la superficie para generar pequeñas corrientes de Foucault sobre las cuales el aire puede fluir suavemente, reduciendo la turbulencia y mejorando el rendimiento aerodinámico. Más allá del material metálico aplicado para la construcción de dichas patas metálicas 11, por ejemplo, acero, también pueden construirse con materiales metálicos asociados a materiales compuestos, o de material compuesto con hormigón armado, o de material compuesto con hormigón pretensado, o combinaciones de los mismos; por ejemplo, las patas metálicas 11 se pueden rellenar con hormigón armado para reforzar la estructura. Como las estructuras verticales para las aplicaciones preferidas, tales como generadores de energía eólica, suelen ser muy altas, por ejemplo, más de 60 metros, cada pata metálica 11 normalmente se fabricará en segmentos separados que se unen durante la instalación en el sitio. Esto significa una combinación de materiales a lo largo de la torre de celosía 10 como, por ejemplo y sin limitarse a: la primera porción 21a fabricada junto con hormigón pretensado, la segunda porción 22a fabricada junto con material de hormigón con hormigón armado y la tercera porción 23a fabricada junto con materiales compuestos, u otras combinaciones adecuadas de materiales.

De acuerdo con esta invención, el acoplamiento entre las porciones 21a, 22a y 23a, así como entre los módulos 20 de cada porción respectiva se realiza mediante el uso de acoplamiento de brida 18, como se representa en la figura 7.

Los elementos de arriostamiento 13 y los elementos de arriostamiento auxiliares 13a son preferentemente de forma cilíndrica, o secciones de canal (U) con un carenado oblongo, y con una longitud sustancialmente similar o igual en toda la altura de la torre de celosía 10, porque con la mayor cantidad de piezas iguales se reducen los costes de fabricación y se facilita el montaje.

Aunque el experto en la materia suele adoptar para los arriostamientos de los elementos diagonales y las barras horizontales las secciones estándar comúnmente utilizadas para la construcción de torres de celosía, pueden sustituirse ventajosamente por elementos de arriostamiento 13 y elementos de arriostamiento auxiliares 13a que tienen al menos una sección de canal en la que la longitud de la banda del canal es menor que la longitud de las patas del canal como se describe en el documento WO 2010/076606A1.

En consecuencia, los elementos de arriostamiento 13 o los elementos de arriostamiento auxiliares 13a pueden construirse con una sección transversal cerrada, o utilizando un material compuesto, o utilizando un elemento de arriostamiento metálico reforzado con un material compuesto, o un elemento de arriostamiento metálico con una sección transversal cerrada rellena de hormigón, u otras combinaciones adecuadas de los mismos.

Las figuras 8 a 12 ilustran cómo la turbina de energía eólica, está soportada encima de dicha torre de celosía 10 a través de una plataforma de soporte con una interfaz tubular interior 40 es decir, a su vez, acoplada a la estructura de torre de celosía 10 por cada pata de plataforma 41 con cada tercera pata 23b respectiva de la tercera porción 23a.

La plataforma de soporte con interfaz tubular interior 40 está formada por tres patas de plataforma 41, cada pata de la plataforma acoplada a una respectiva tercera pata 23b de la tercera parte 23a y una interfaz tubular interior 42 acoplada a las tres patas de plataforma 41, como se representa en las figuras 8 a 12. En el caso de soportar una turbina eólica, la interfaz tubular interior está formada por un tubo de acero y se fija en el soporte para permitir la conexión con la góndola, utilizando el estado de la técnica en términos de fijación de la góndola. En la realización de ejemplo mostrada en las figuras 13A y 13B, una turbina de energía eólica con góndola alargada 56 está acoplada a la torre de celosía 10, en su parte superior. De este modo, ya que la torre de celosía da menos sombra al viento que una torre de acero tubular (monopolo), dicha torre de celosía se puede disponer con un diseño contra el viento o a favor del viento, de acuerdo con la dirección del viento 60 y dependiendo de la aplicación o construcción adecuada, como se representa respectivamente en las figuras 14 a 18B.

Con fines ilustrativos y ejemplificativos, sin limitar la presente invención, las figuras 19A y 19B muestran la Tabla I que es una hoja de cálculo de dimensionamiento de una realización de ejemplo de la torre de celosía 10 con 138 metros de altura (alrededor de 453 pies), utilizando únicamente patas metálicas y elementos de arriostramiento sin refuerzo de material compuesto. La hoja de cálculo de dimensionamiento muestra las dimensiones esenciales de la estructura de la torre de celosía 10 de ejemplo a partir de la cantidad de módulos 20 así como su altura en la que los módulos 20 están conectados entre sí para formar la torre de celosía 10 alta.

Las figuras 20A y 20B muestran la Tabla II, que también es una hoja de cálculo de dimensiones de una realización de ejemplo de la torre de celosía 10 que tiene 138 metros de altura (alrededor de 453 pies), en el que las patas y los elementos de arriostramiento incluyen hormigón armado.

En las realizaciones descritas en las Tablas I y II de las figuras 19A, 19B, 20A y 20B los ejes longitudinales centrales 16 de las patas metálicas 11 están inclinados menos de 0,35 grados con respecto al eje vertical de la torre 12. Las patas metálicas 11 tienen conicidad variable, donde su diámetro comienza con 1.000 mm (alrededor de 3,281 pies) en la base disminuyendo a 510 mm (alrededor de 1,673 pies) a 84 metros de altura (alrededor de 275,5 pies) (en relación con la primera porción 21a ya mostrada en la figura 2A); mantiene el diámetro con 510 mm (alrededor de 1,673 pies) hasta 120 metros de altura (alrededor de 393,6 pies) (en relación con la segunda porción cilíndrica 22a ya mostrada en la figura 2A). A partir de entonces, la conicidad de las patas metálicas 11 tiene el mismo valor que la primera porción 21a, pero de forma inversa, y el diámetro de las patas metálicas 11 aumenta a 598 mm (alrededor de 1,960 pies) en la parte superior de la torre de celosía 10 en 138 metros de altura (alrededor de 452,6 pies).

Los espesores de los módulos de patas 20 son los normalmente disponibles en los estándares del mercado. El grosor del elemento de arriostramiento 13 y los elementos de arriostramiento auxiliares 13a se calculó para resistir las tensiones en la porción de base 17b de la torre de celosía 10. Los sistemas de conexión de los elementos de arriostramiento 13 y de los arriostramientos auxiliares 13a con las patas metálicas 11 de la torre de celosía 10, así como entre sí, están hechos de acero y pesan unas 9,7 toneladas.

En la realización ilustrativa mostrada en la figura 13A, la torre de celosía 10 tiene unos 0,19 grados de conicidad para compensar la conicidad variable de las patas metálicas 11. La conicidad de la torre de celosía 10 es constante a lo largo de su eje vertical 12, y el eje longitudinal de las patas centrales 16 es lineal y concéntrico al eje de las porciones 21a, 22a y 23a, por no generar puntos de concentración de tensiones.

Por lo tanto, debido a la forma de la torre de celosía 10, así como al desempeño y comportamiento estructural se obtiene una sorprendente reducción en el coste total de la estructura, además del aumento de frecuencia si se compara con una torre monopolo estándar, normalmente utilizada para cargar turbinas eólicas, como se muestra a continuación en la Tabla III. Los costes se estimaron en una moneda relativa, cubriendo los costes de materiales, fabricación, logística y mano de obra, sin considerar el coste de transporte especial requerido por componentes de grandes dimensiones o pesos. Patas metálicas 11, elementos de arriostramiento 13 y elementos de arriostramiento auxiliares 13a pueden fabricarse con cualquier material metálico adecuado, por ejemplo, acero. Se prefiere un acero estructural de baja aleación y alta resistencia, y para la comparación que se muestra, las propiedades del acero preferentemente utilizado son las siguientes: límite elástico (f_y) es de unos 3.806 kgf/cm²; el módulo de young (E) es de aproximadamente 2.100.000 kgf/cm² y la densidad es de unos 7.850 kgf/m³. El hormigón utilizado tiene aproximadamente las siguientes propiedades: resistencia (f_{ck}) es 510 kgf/cm²; el módulo de young (E) es de 343.219 kgf/cm² y la densidad es de 2.300 kgf/m³. Las barras de acero embebidas del hormigón armado tienen las siguientes propiedades: límite elástico (f_y) es de 5.000 kgf/cm²; el módulo de young (E) es de 2.100.000 kgf/cm² y la densidad es de 7.850 kgf/m³.

La figura 21 muestra la Tabla III correspondiente a la torre de celosía 10 en acero únicamente, tomando como referencia para la comparación y nombrada aquí como TA1, para turbinas eólicas instaladas a una altura superior a 60 metros (alrededor de 196,8 pies), es de menor coste, de logística más simple y mejor espectro de frecuencias naturales que un monopolo, también en acero y nombrado aquí como TM1, considerando una resistencia equivalente. El coste de fabricación de la torre de celosía 10 se reduce a 1/3 del coste del monopolo. Considerando una torre de celosía 10 en la que se utiliza una combinación de materiales, tal como acero y hormigón armado denominados aquí como TAC1, el coste se reduce a 1/5 del monopolo TM1, como también se muestra en la Tabla III.

La frecuencia del primer modo aumenta de 0,151 Hz, para la torre monopolo TM1, a 0,297 Hz, para la TA1. La frecuencia de 0,297 Hz está fuera del intervalo de frecuencia de las palas del rotor de un turbina eólica. Para la torre de celosía TAC1 en la que se utiliza una combinación de materiales en las patas y elementos de arriostramiento, la frecuencia sube a 0,381 Hz. También muestra que al cambiar el acero por materiales mixtos de la misma resistencia, por ejemplo, hormigón armado, el coste de la TAC1 disminuye aún más al mismo tiempo que se mejora el espectro de frecuencias. Para TAC1, la frecuencia del primer modo aumenta a 0,381 Hz y el coste se reduce aproximadamente un 40 % en relación al costo de la TA1.

La Tabla III resume la comparación entre las tres tecnologías estudiadas.

La torre de celosía TAC1 de acero y hormigón armado presenta las siguientes ventajas:

1) Menor coste: cuesta alrededor del 20 % del monopolo TM1 y alrededor del 61 % de una torre de celosía TA1 solo en acero;

5 2) Tiene frecuencia natural de 0,387 Hz, un 28 % más alto que la torre de celosía TA1 de acero y un 152 % más alto que el monopolo TM1;

3) El transporte es más sencillo y económico: El hormigón es de menor coste de transporte y se puede obtener fácilmente cerca de la mayoría de los sitios de instalaciones, por lo tanto, el coste de transporte más caro es para el acero. La torre TAC1 utilizó 99,2 toneladas de acero, considerando el acero utilizado en las carcasas de las patas, así como para el refuerzo del hormigón y para las bridas. Este valor es el 59 % de una torre TA1 que tiene 10 167,0 toneladas y es el 25 % de la masa de la torre monopolo TM1, con 402,5 toneladas. Para la torre monopolo TM1 el coste es aún mayor, porque es necesario un sistema de transporte especial para tubos de 4 metros de diámetro (13,123 ft) con 12 o 24 metros de longitud (alrededor de 39,4 o 78,7 ft de longitud).

La torre de celosía también presenta un diámetro equivalente de 1,6 a 1,8 metros (alrededor de 5,245 a 5,905 pies) con índices de área expuesta que van desde 13,5 % a 15,5 %, en la altura de la torre lograda por la longitud de las 15 palas del rotor. Como también las patas metálicas 11 de la torre se distribuyen a lo largo de una distancia de 12 metros (unos 39,4 pies) entre sus ejes longitudinales centrales 16, la turbulencia causada por la torre es pequeña, lo que permite su uso también en configuraciones a favor del viento. Esta configuración es más crítica en la torre como 20 monopolos en acero u hormigón.

El uso del rotor a favor del viento aporta numerosas ventajas a la turbina. En esta condición, la fuerza de arrastre y centrífuga ayuda a reducir el momento en la raíz de la pala en aproximadamente un 50 %, reduciendo así en un 50 % el peso de las palas y el buje. De este modo, es menos peso para ser equilibrado en la góndola. Al tener un menor momento de inercia, el sistema de control de azimut es más liviano y de menor coste. Estas y otras ventajas conducen 25 a una reducción del peso final sobre la torre en un 30 a 40 %. Menos peso en la parte superior implica frecuencias naturales más altas, mejorando aún más el rendimiento de la torre en acero y hormigón armado. Por consiguiente, por estos sorprendentes efectos, se obtiene una torre significativamente más económica, como se resume en la TABLA III, como se ilustra en la figura 21.

30 Si bien se han mostrado y descrito en particular realizaciones de ejemplo, una persona experta en la técnica puede realizar varios cambios en la forma y los detalles. Dichos cambios y otros equivalentes son posibles siempre que estén dentro del alcance de la invención tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una torre de celosía (10) para soportar una turbina de energía eólica que tiene una góndola, comprendiendo la torre de celosía (10):

5 a) tres patas metálicas (11) dispuestas en una configuración triangular alrededor de un eje vertical (12) de la torre de celosía (10), en donde

10 cada pata metálica (11) tiene un perfil de sección transversal cerrado,
una distancia entre el centro (16) de patas metálicas (11) en una porción inferior (17b) de la torre es mayor a 4 metros,
un ángulo de inclinación de un eje longitudinal central de cada pata metálica (11) con relación al eje vertical de la torre (12) es entre -1,7 grados y +1,7 grados, y
15 la altura de la torre de celosía (10) es superior a 60 metros;

b) una pluralidad de elementos de arriostramiento; y

c) una plataforma de soporte (14) dispuesta en una porción superior de la torre (17a),

20 en donde dicha torre de celosía (10) está dividida verticalmente en tres porciones, comprendiendo cada porción al menos un módulo (20), y en donde las tres porciones comprenden:

25 - una primera porción (21a) que comprende tres primeras patas (21b);
- una segunda porción (22a) que comprende tres segundas patas (22b), estando cada segunda pata (22b) alineada linealmente y acoplada a una primera pata (21b) correspondiente de la primera parte (21a); y
- una tercera porción (23a) que comprende tres terceras patas (23b), estando cada tercera pata (23b) alineada linealmente y acoplada a una segunda pata (22b) correspondiente de la segunda parte (22a);

30 acoplamientos entre la primera, segunda y tercera porciones (21a, 22a, 23a) y entre módulos (20) de la primera, segunda y tercera porciones (21a, 22a, 23a) comprendiendo acoplamientos de brida (18),
en donde la plataforma de soporte (14) comprende

35 - tres patas de plataforma (41), teniendo cada pata de plataforma (41) un respectivo extremo superior y un respectivo extremo inferior, en donde cada pata de plataforma (41) está acoplada en su extremo inferior a una respectiva tercera pata (23b) de la tercera porción (23a), y

caracterizada por que la plataforma de soporte (14) comprende además

40 - una interfaz tubular interna (42) acoplada a las tres patas de plataforma (41), estando formada la interfaz tubular interior (42) por un tubo de acero adaptado para ser conectado a la góndola de la turbina eólica, teniendo el tubo de acero una sección transversal circular y un extremo superior y un extremo inferior a lo largo de su eje vertical coincidente con el eje vertical (12) de la torre de celosía (10), en donde la interfaz tubular interior (42) está acoplada en su extremo superior a vigas que conectan los extremos superiores de las tres patas de plataforma (41), y en su extremo inferior a vigas que conectan los extremos inferiores de las tres patas de plataforma (41).

45 2. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde el ángulo de inclinación del eje longitudinal central (16) de cada pata metálica (11) con relación al eje vertical de la torre (12) es entre -1,7 grados y +1,7 grados, pero no incluye 0 grados.

50 3. La torre de celosía (10) de la reivindicación 01, en donde la sección transversal cerrada de cada pata metálica (11) es sustancialmente circular.

55 4. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde las segundas patas (22b) comprenden una estructura cilíndrica.

5. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde el diámetro de cada tercera pata (23b) respectiva de la tercera porción (23a) es mayor que el diámetro de cada segunda pata (22b) respectiva en la segunda porción (22a).

60 6. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde al menos una parte de las patas metálicas (11) están rellenas de un material compuesto.

65 7. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 06, en donde el material compuesto comprende hormigón armado, hormigón pretensado o una combinación de los mismos.

8. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde los elementos de arriostramiento (13) están

dispuestos en diagonal y los elementos de arriostamiento auxiliares (13a) en posición horizontal.

- 5 9. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde los elementos de arriostamiento (13) están inclinados entre un ángulo de 30° y 60° con relación al eje central de cada pata (16).
- 10 10. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde los elementos de arriostamiento (13) comprenden al menos un elemento de arriostamiento (13) o un elemento de arriostamiento auxiliar (13a) con una sección transversal cerrada.
- 10 11. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde los elementos de arriostamiento (13) o los elementos de arriostamiento auxiliares (13a) comprenden al menos un elemento de arriostamiento (13) o un elemento de arriostamiento auxiliar (13a) con un material compuesto o reforzado con un material compuesto.
- 15 12. La torre de celosía (10) de acuerdo con la reivindicación 01, en donde una relación de diámetro exterior a espesor (D/t) de cada pata metálica (11) es superior a 30.

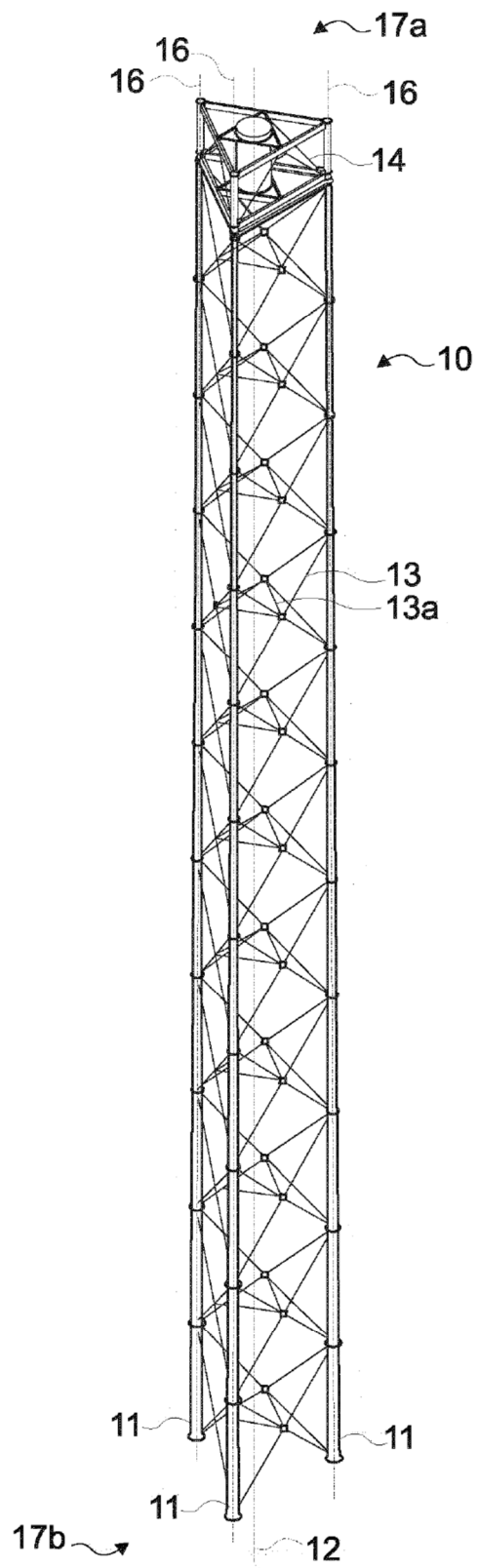


FIG. 1

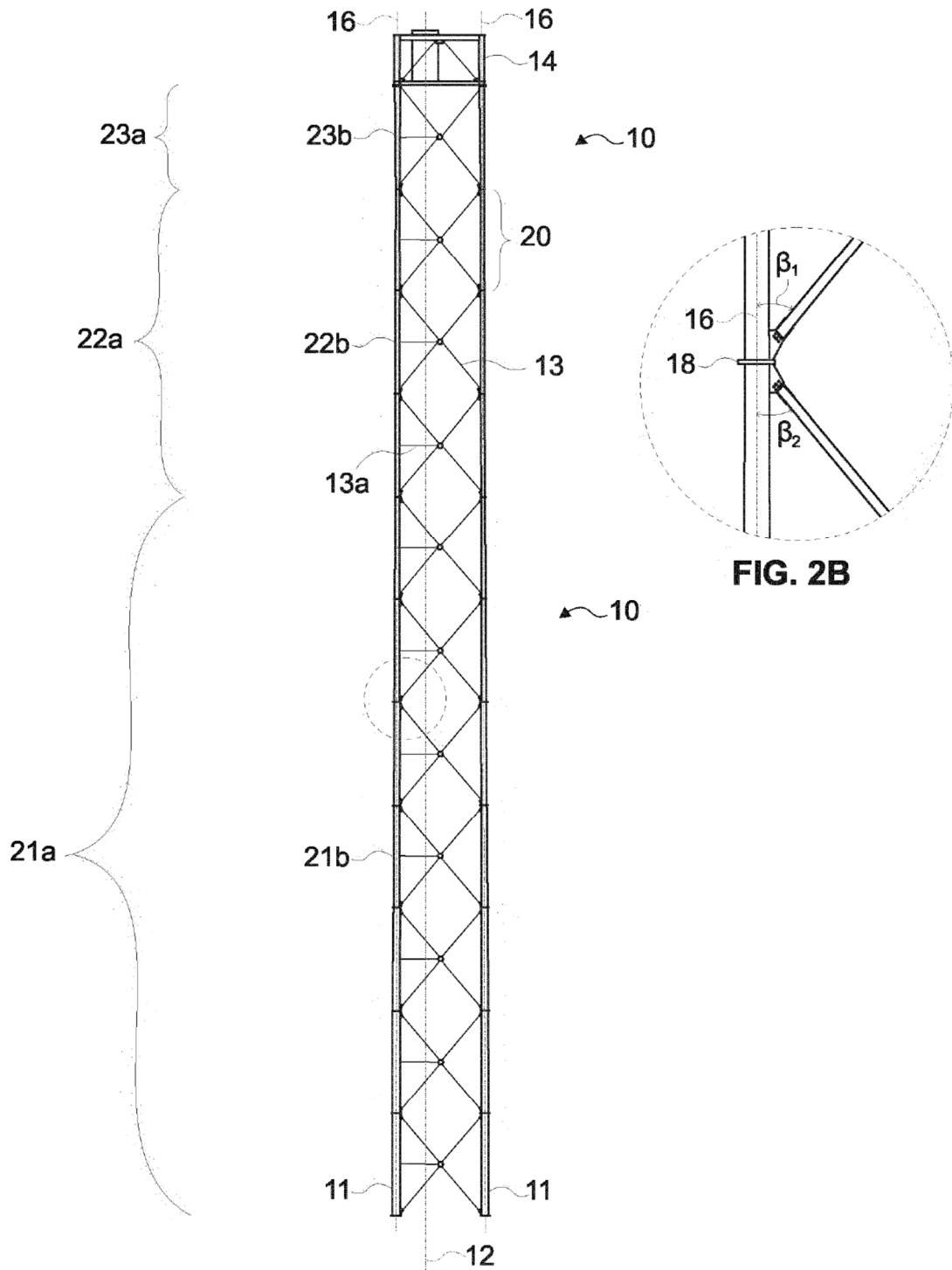


FIG. 2A

FIG. 2B

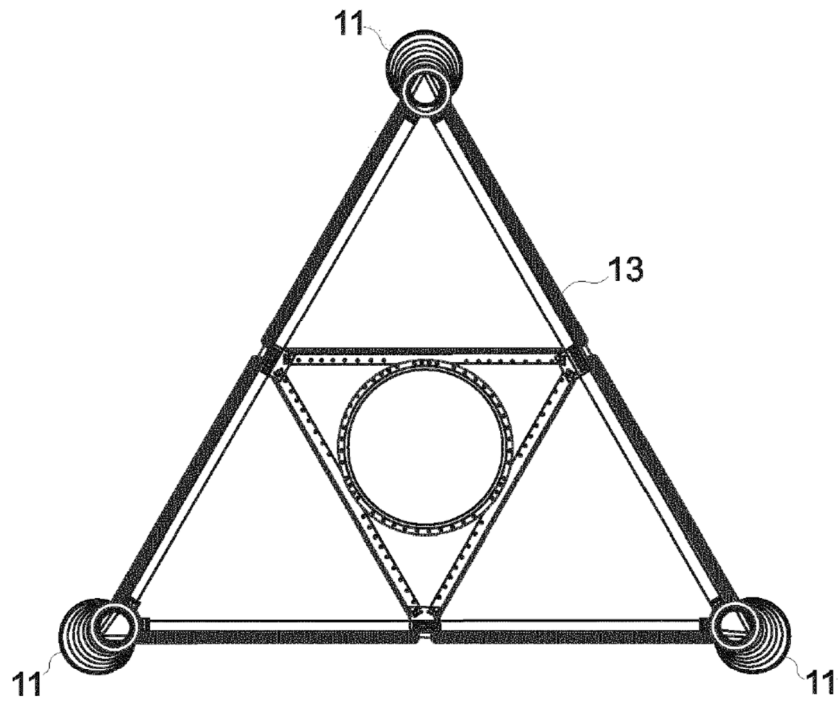


FIG. 3A

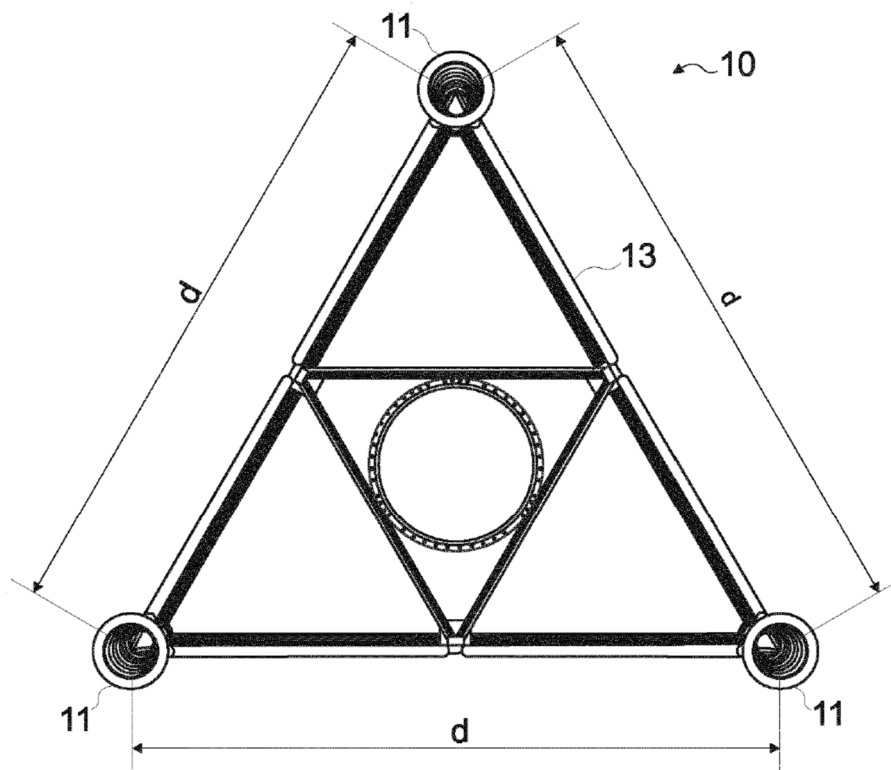


FIG. 3B



FIG. 4

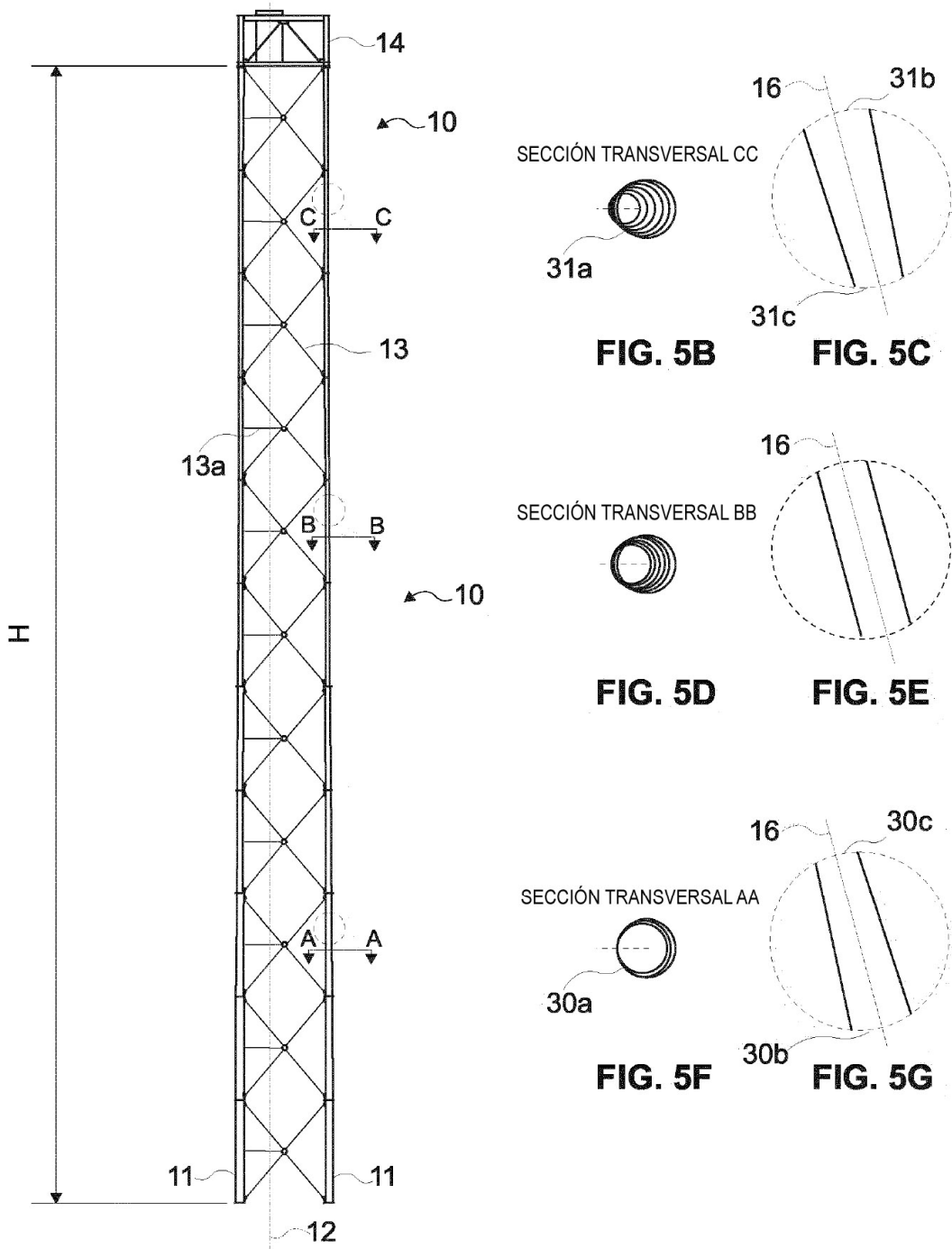


FIG. 5A

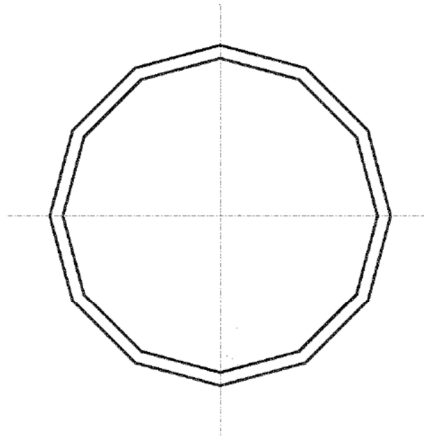


FIG. 6A

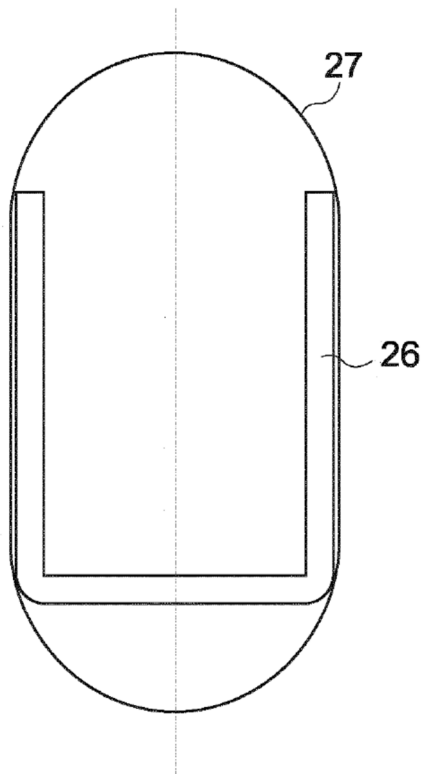


FIG. 6B

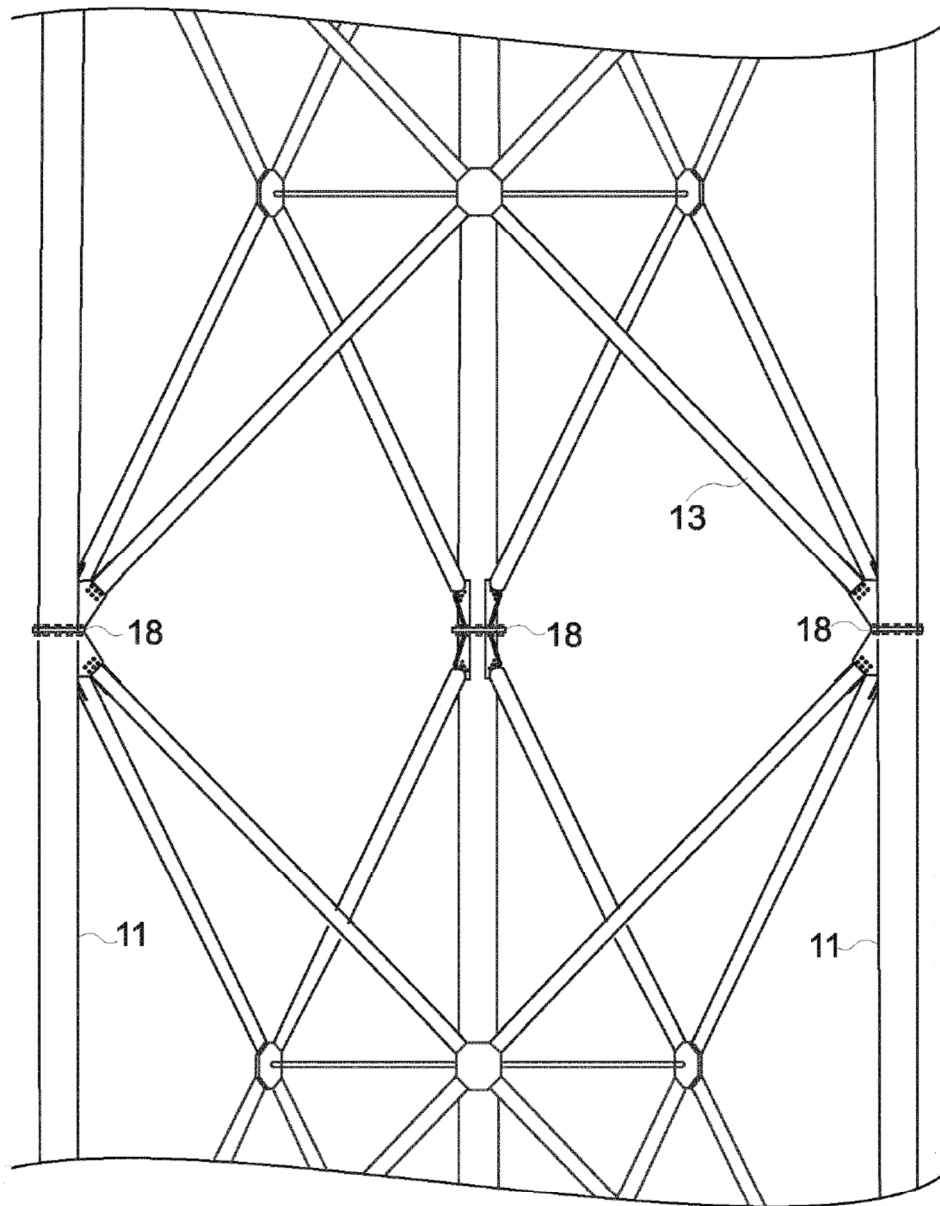


FIG. 7

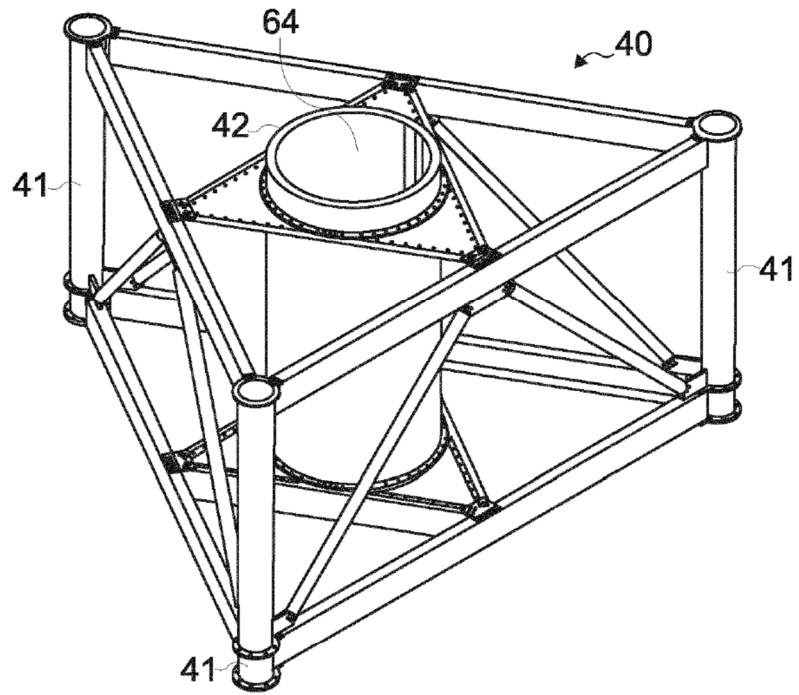


FIG. 8

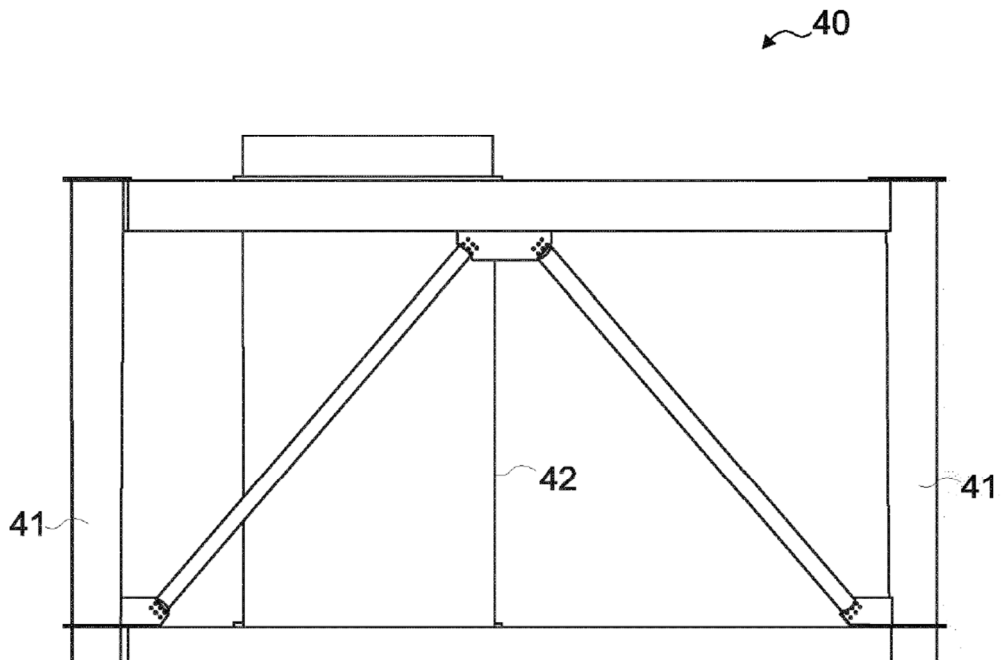


FIG. 9

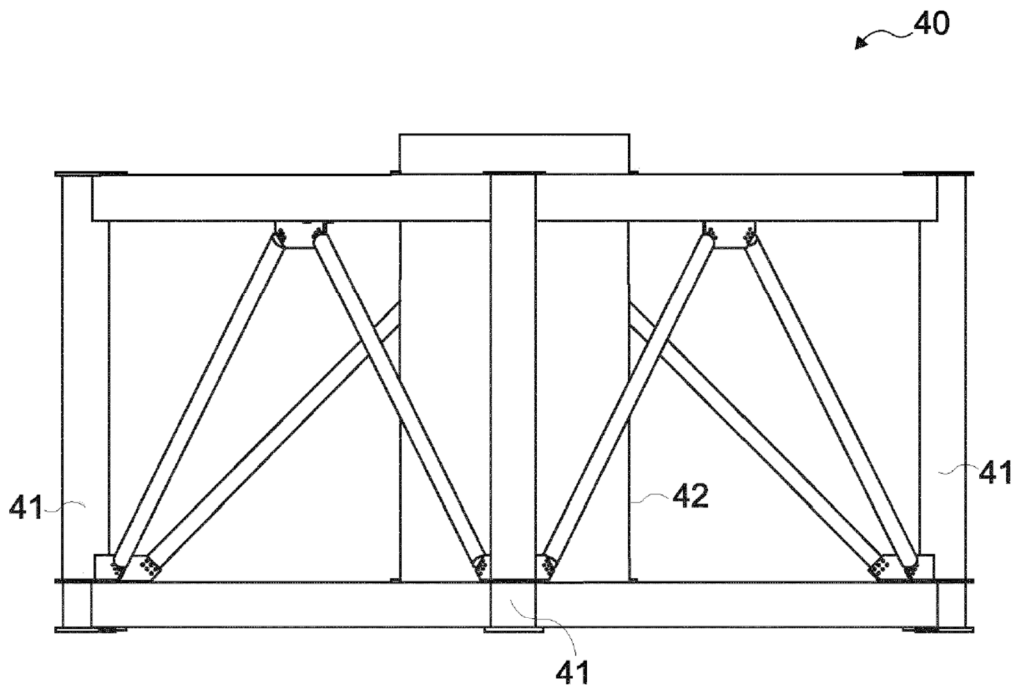


FIG. 10

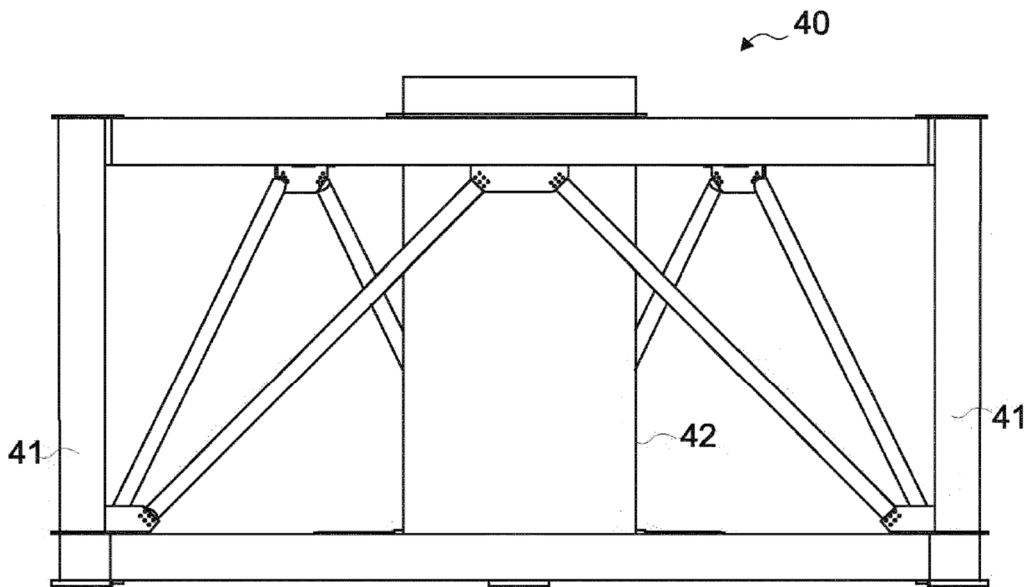


FIG. 11

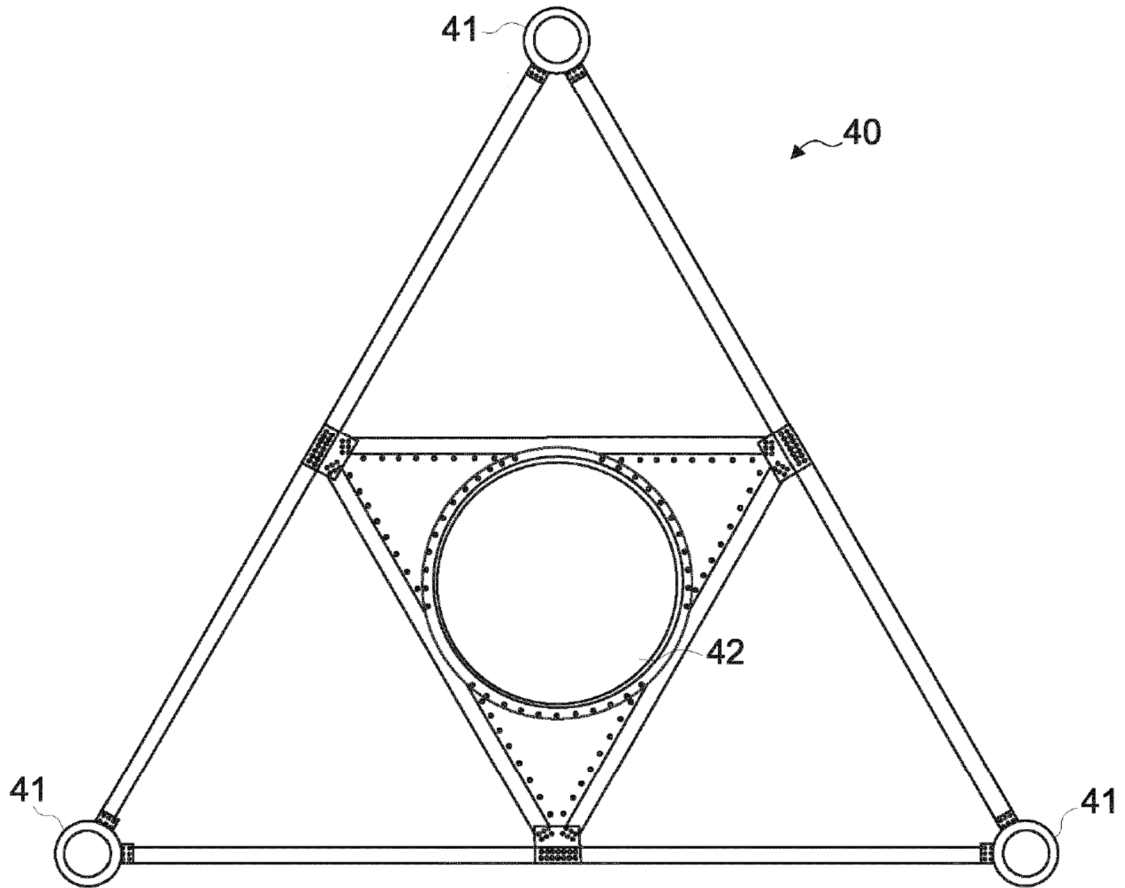


FIG. 12

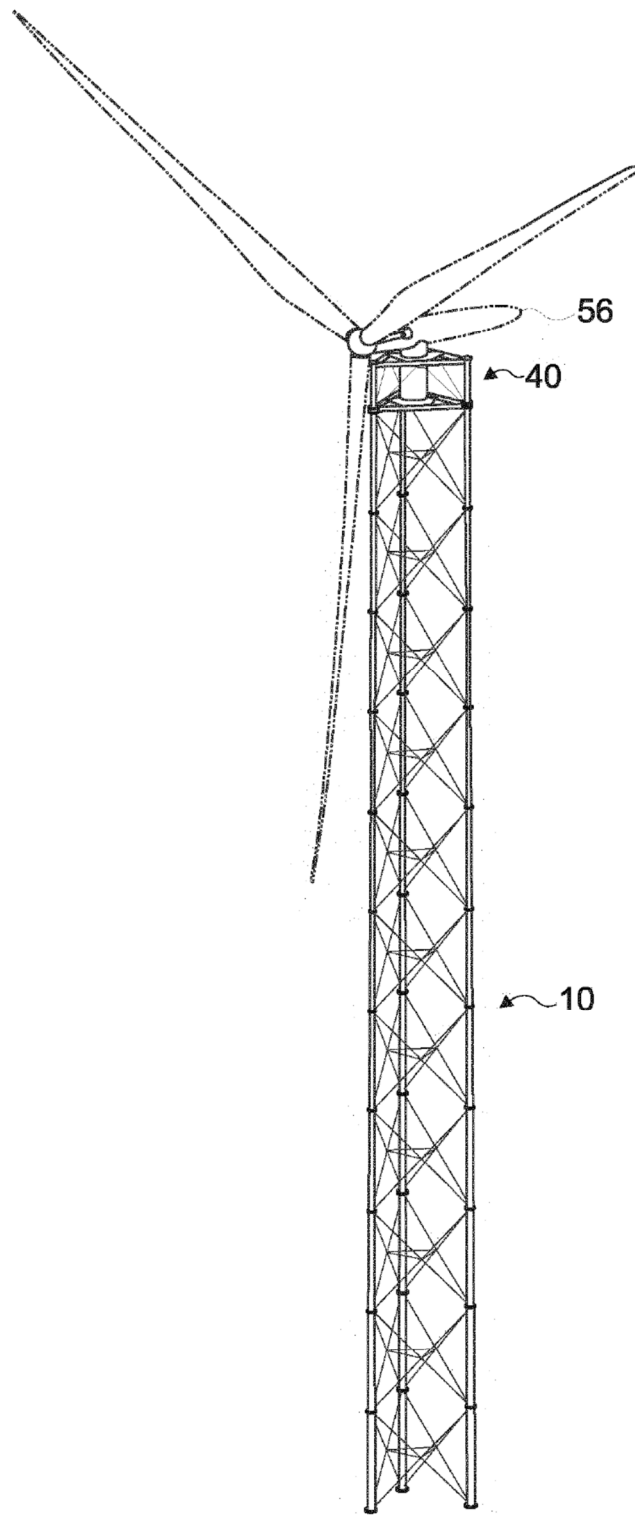


FIG. 13A

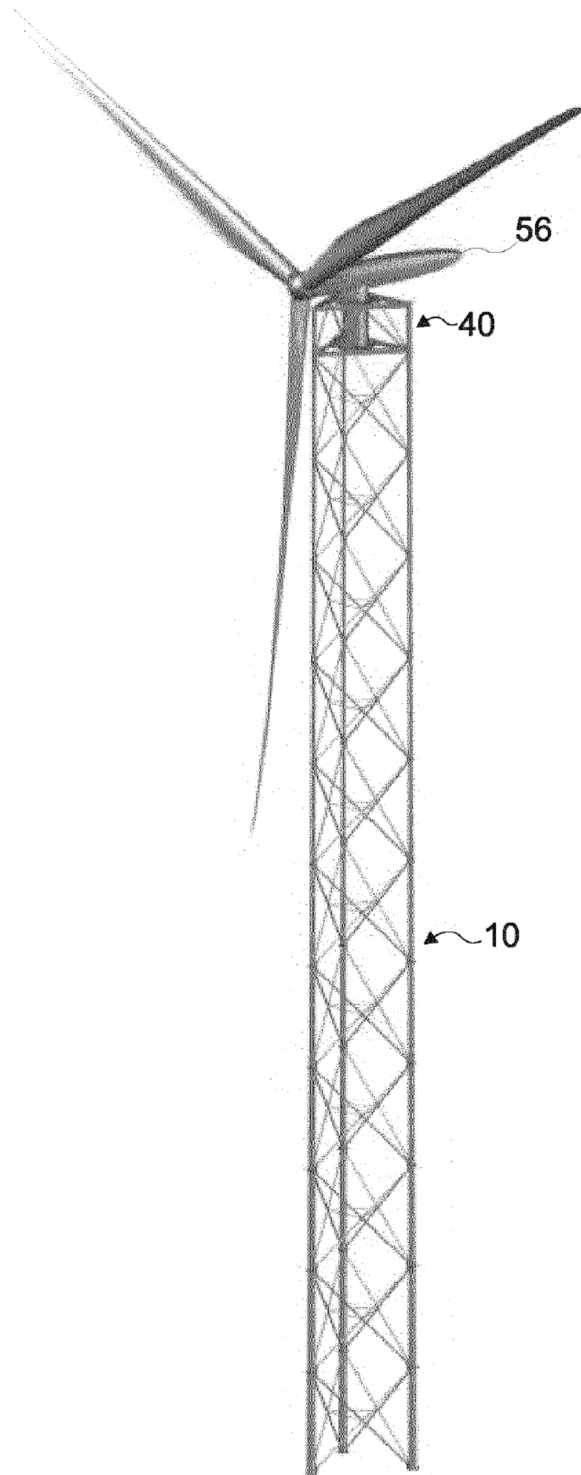


FIG. 13B

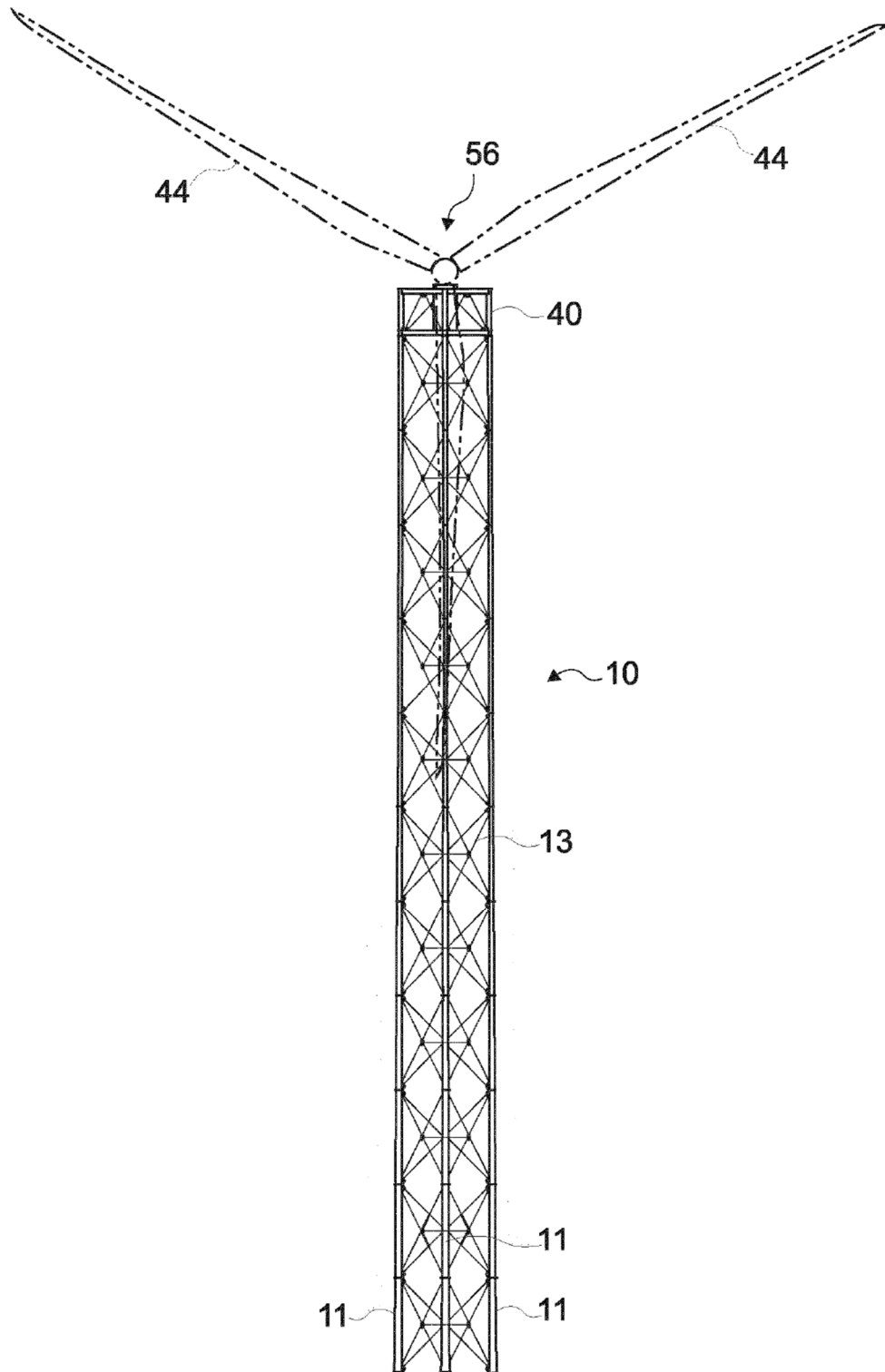


FIG. 14

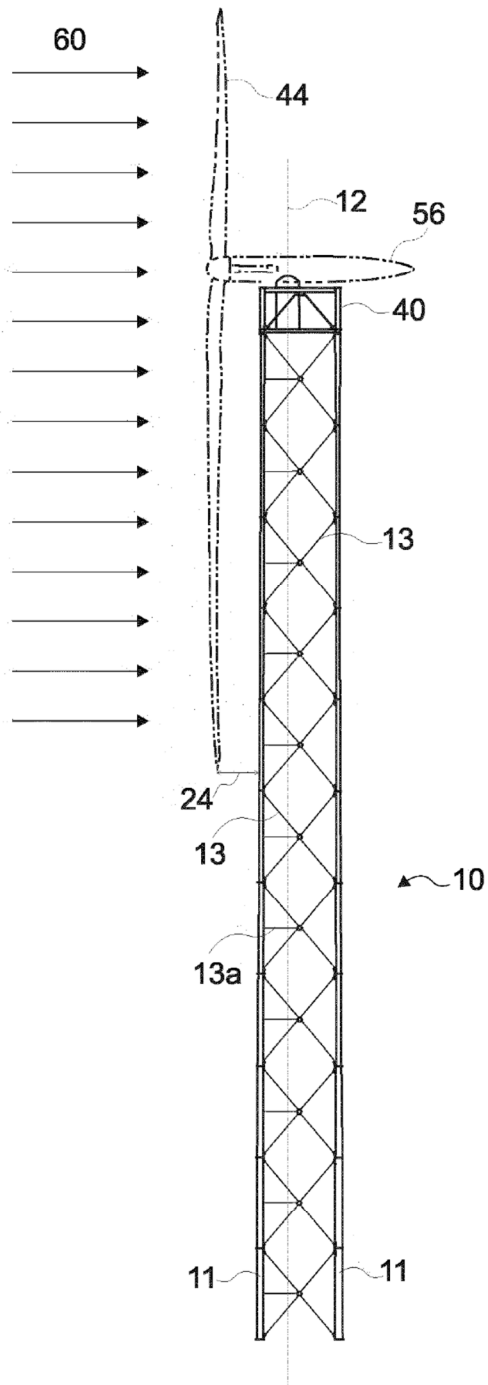


FIG. 15A

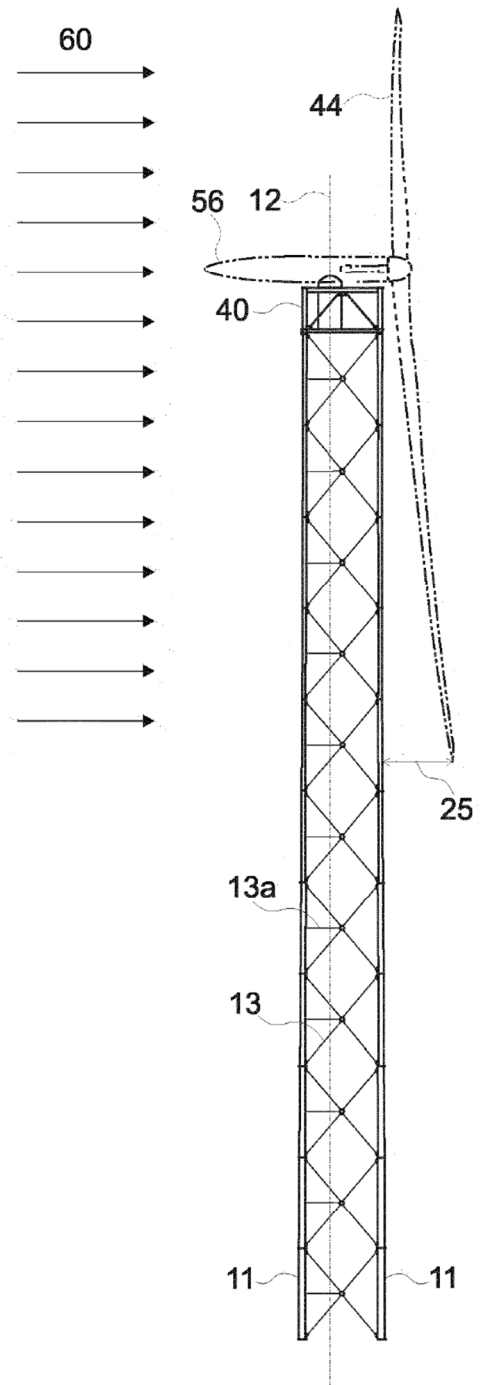


FIG. 15B

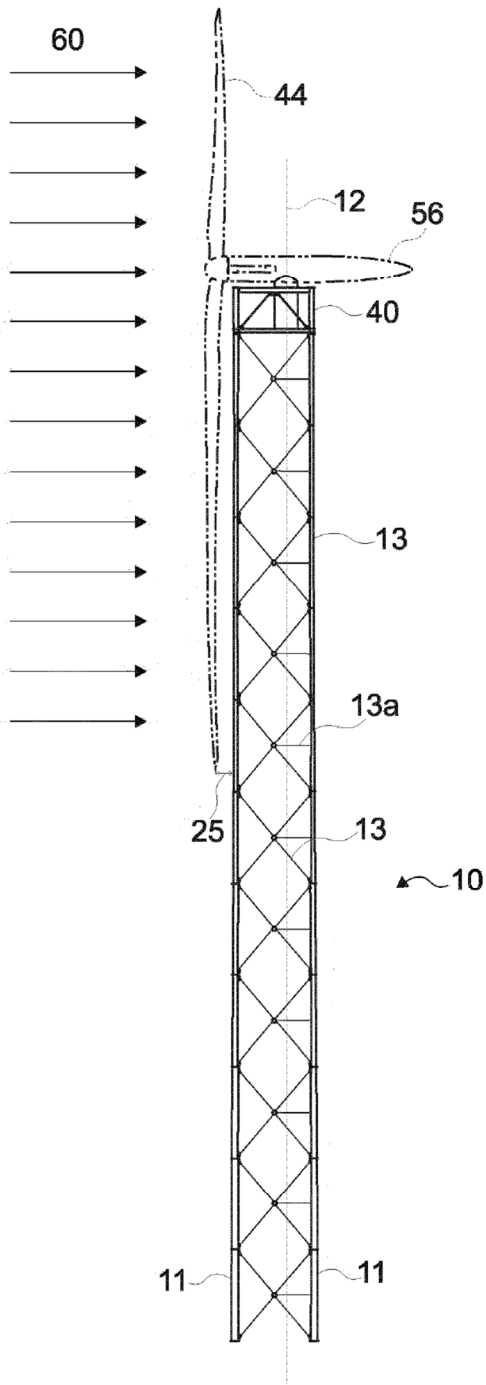


FIG. 16A

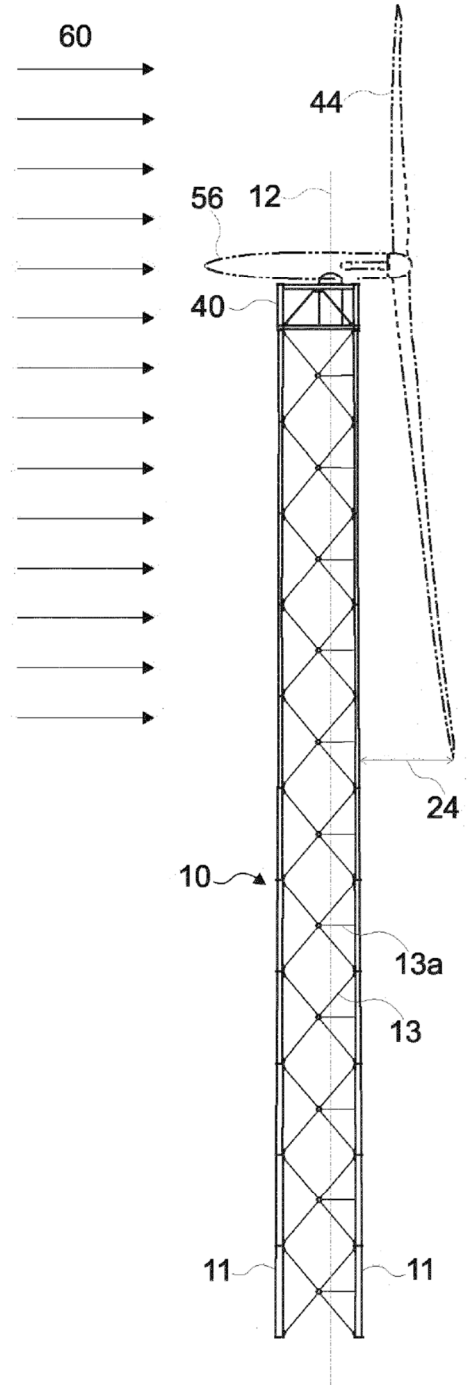


FIG. 16B

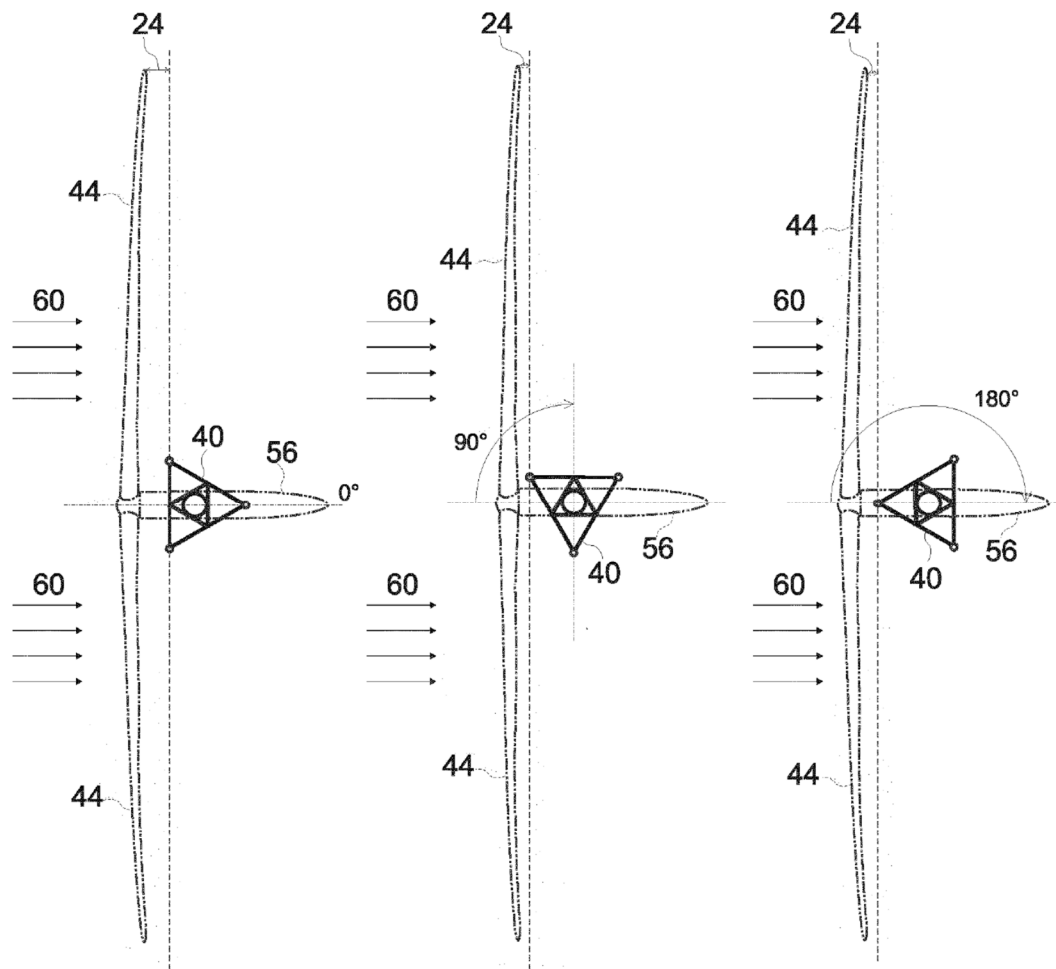


FIG. 17A

FIG. 17B

FIG. 17C

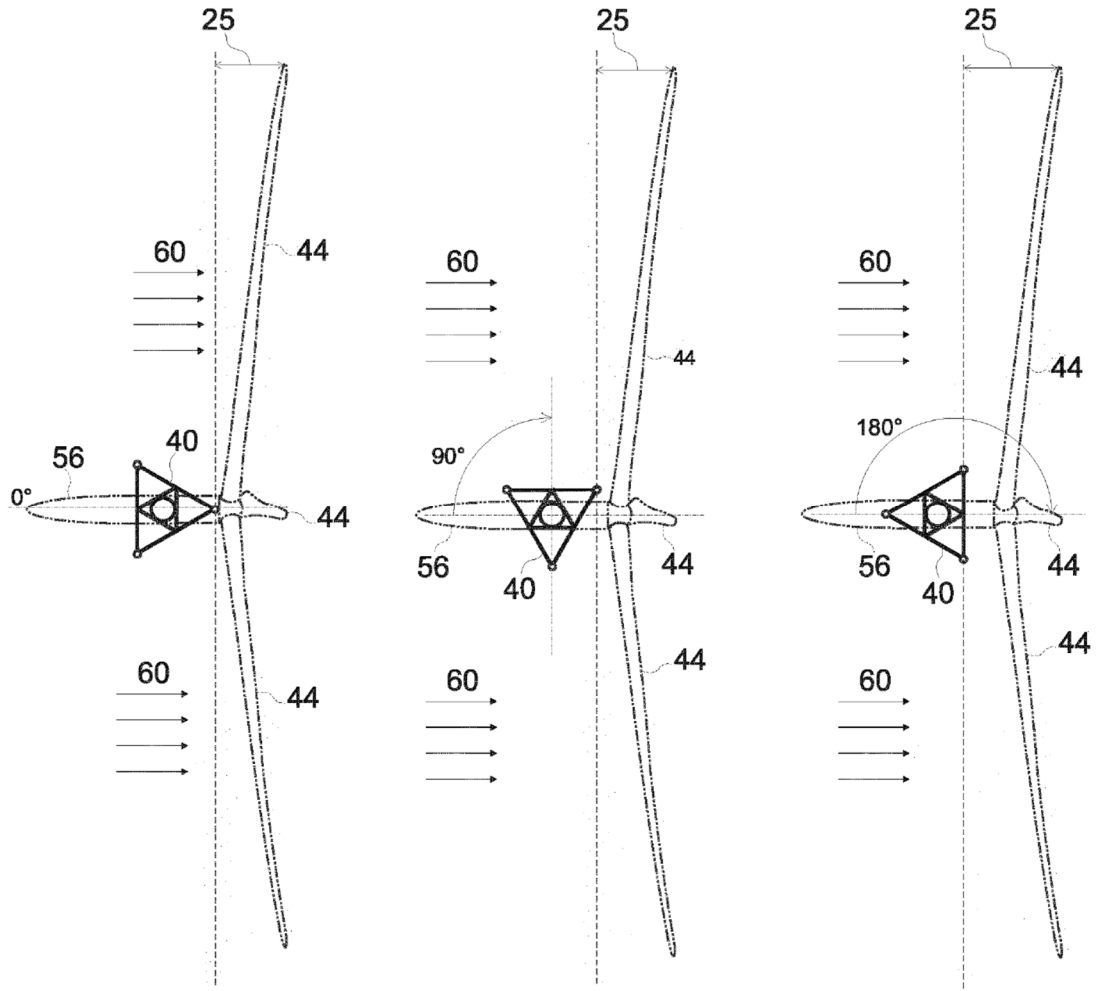


FIG. 18A

FIG. 18B

FIG. 18C

TABLA 1 - HOJA DE CÁLCULO DE DIMENSIONES DE UNA REALIZACIÓN DE EJEMPLO DE LA INVENCIÓN - TORRE DE ACERO PATAS													
Módulos	Altura torre (H)		Longitud de patas		Espesor de patas (t)		Distancia entre el eje central de las patas		Diámetro promedio de pata (D)		D/t	Masa de tres patas	
	m	ft	m	ft	m	in	m	ft	m	ft		kg	lb
Parte superior	A₁=11.218 36,795												
12°	138,0	452,6	6,0	19,7	0,01588	5/8	11,235	36,851	0,598	1,960	37,6	4,099	9,017
11°	132,0	433,0	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,286	37,018	0,545	1,788	42,9	6,002	13,204
10°	120,0	393,6	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,354	37,241	0,510	1,673	40,2	5,607	12,336
9°	108,0	354,2	12,0	39,4	0,01588	5/8	11,422	37,464	0,510	1,673	32,1	6,964	15,321
8°	96,0	314,9	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,490	37,687	0,510	1,673	26,8	8,303	18,267
7°	84,0	275,5	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,558	37,910	0,545	1,788	28,6	8,895	19,570
6°	72,0	236,2	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,626	38,133	0,615	2,017	32,3	10,079	22,174
5°	60,0	196,8	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,694	38,356	0,685	2,247	36,0	11,263	24,779
4°	48,0	157,4	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,762	38,579	0,755	2,476	39,6	12,447	27,383
3°	36,0	118,1	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,830	38,802	0,825	2,706	43,3	13,631	29,988
2°	24,0	78,7	12,0	39,4	0,01905	3/4	11,898	39,025	0,895	2,936	47,0	14,815	32,593
1°	12,0	39,4	12,0	39,4	0,02223	7/8	11,966	39,248	0,965	3,165	43,4	18,603	40,926
Base	A₀=12.000 39,360												

FIG. 19A

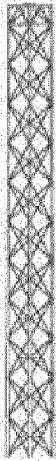
TABLA 1 -HOJA DE CÁLCULO DE DIMENSIONES DE UNA REALIZACIÓN DE EJEMPLO DE LA INVENCION - TORRE DE ACERO						
ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO						
Módulos	Diámetro elementos de arriostramiento		Espesor del elemento de arriostramiento		Masa de los elementos de arriostramiento (acero y hormigón armado)	
	m	ft	m	in	kg	lb
Parte superior						
 12°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	1.904	4.189
11°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.834	8.435
10°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.856	8.484
9°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.868	8.509
8°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.880	8.535
7°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.879	8.534
6°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.866	8.505
5°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.853	8.477
4°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.841	8.449
3°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.828	8.421
2°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.815	8.393
1°	0,2190	0,718	0,00794	5/16	3.802	8.365
Base						

FIG. 19B

TABLA II - HOJA DE CÁLCULO DE DIMENSIONES DE UNA REALIZACIÓN DE EJEMPLO DE LA INVENCIÓN - TORRE DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO

PATAS

Módulos	Altura torre (H)		Longitud de patas		Espesor de patas (t)		Distancia entre el eje central de las patas		Diámetro promedio de pata (D)		Número de barras de refuerzo de hormigón para tres patas	Diámetro de barras de refuerzo de hormigón para tres patas		D/t	Masa de tres patas	
	m	ft	m	ft	m	in	m	ft	m	ft		m	in		kg	lb
Parte superior	A₀=11.218 36,795															
12°	138,0	452,6	6,0	19,7	0,00953	3/8	11,235	36,851	0,598	1,960	57	0,0191	3/4	62,7	13,907	30,595
11°	132,0	433,0	12,0	39,4	0,00635	1/4	11,286	37,018	0,545	1,788	18	0,0191	3/4	85,8	21,804	47,970
10°	120,0	393,6	12,0	39,4	0,00635	1/4	11,354	37,241	0,510	1,673	18	0,0191	3/4	80,3	19,264	42,380
9°	108,0	354,2	12,0	39,4	0,00635	1/4	11,422	37,464	0,510	1,673	45	0,0191	3/4	80,3	19,776	43,508
8°	96,0	314,9	12,0	39,4	0,00953	3/8	11,490	37,687	0,510	1,673	27	0,0191	3/4	53,5	20,419	44,922
7°	84,0	275,5	12,0	39,4	0,00953	3/8	11,558	37,910	0,545	1,788	36	0,0191	3/4	57,2	23,201	51,041
6°	72,0	236,2	12,0	39,4	0,00953	3/8	11,626	38,133	0,615	2,017	54	0,0191	3/4	64,6	29,241	64,331
5°	60,0	196,8	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,694	38,356	0,685	2,247	27	0,0191	3/4	53,9	36,386	80,049
4°	48,0	157,4	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,762	38,579	0,755	2,476	36	0,0191	3/4	59,4	43,670	96,074
3°	36,0	118,1	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,830	38,802	0,825	2,706	36	0,0191	3/4	65,0	51,420	113,125
2°	24,0	78,7	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,898	39,025	0,895	2,936	39	0,0191	3/4	70,5	59,865	131,703
1°	12,0	39,4	12,0	39,4	0,01270	1/2	11,966	39,248	0,965	3,165	114	0,0191	3/4	76,0	70,314	154,691
Base	A₀=12.000 39,360															

FIG. 20A

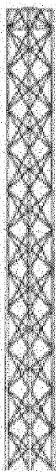
TABLA II - HOJA DE CÁLCULO DE DIMENSIONES DE UNA REALIZACIÓN DE EJEMPLO DE LA INVENCION - TORRE DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO						
Módulos	ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO					
	Diámetro elementos de arriostramiento		Espesor de elemento de arriostramiento		Masa de elementos de arriostramiento (acero y hormigón armado)	
	m	ft	m	in	kg	lb
Parte superior						
 12°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	2.406	5.294
11°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.845	10.660
10°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.874	10.722
9°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.888	10.754
8°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.903	10.786
7°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.902	10.785
6°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.886	10.749
5°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.870	10.713
4°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.854	10.678
3°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.837	10.642
2°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.821	10.607
1°	0,2190	0,718	0,00476	3/16	4.805	10.572
Base						

FIG. 20B

TABLA III- COMPARACIÓN DE COSTE, MASA Y FRECUENCIA ENTRE UN MONOPOLO Y LAS DOS REALIZACIONES DE EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN						
Torre	Coste (\$)	Masa (toneladas)		Frecuencia (Hz)		
		Acero	Hormigón	1º modo	2º modo	3º modo
Monopolo (TM1)	301%	241% 402,5	-	51% 0,151	107% 1,019	94% 2,034
Torre de celosía en acero solamente (TA1)	Referencia (100%)	100% 167,0	-	100% 0,297	100% 0,955	100% 2,175
Torre de celosía en acero y hormigón armado (TAC1)	61%	59% 99,2	367,969	128% 0,381	98% 0,934	85% 1,844

FIG. 21