

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 482 365**

21 Número de solicitud: 201200852

51 Int. Cl.:

**E04B 1/19** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

**23.08.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**01.08.2014**

Fecha de la concesión:

**14.01.2015**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**21.01.2015**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)  
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n  
39005 Santander (Cantabria) ES**

72 Inventor/es:

**GÓMEZ JÁUREGUI , Valentín ;  
OTERO GONZÁLEZ , César Antonio ;  
ARIAS FERNÁNDEZ , Rubén y  
MANCHADO DEL VAL , Cristina**

54 Título: **Módulo estructural de tensegridad y malla estructural de doble capa que comprende dicho módulo**

57 Resumen:

Módulo estructural de tensegridad contenido en un prisma definido por una base inferior y una base superior de  $2n$  lados, que comprende  $2n$  nodos inferiores de esquina situados en correspondencia con los vértices de la base inferior y  $2n$  nodos inferiores intermedios situados en correspondencia con la mitad de cada lado de la base inferior, y  $2n$  nodos superiores de esquina situados en correspondencia con los vértices de la base superior y  $2n$  nodos superiores intermedios situados en correspondencia con la mitad de cada lado de la base superior. El módulo comprende al menos  $2n$  elementos de compresión, donde cada elemento de compresión tiene situado el primer extremo en la base inferior y el segundo extremo en la base superior. El módulo comprende al menos  $(6n - 2)$  elementos de tracción que tienen un primer extremo, conectado con un extremo de un primer elemento de compresión, y un segundo extremo, conectado con un extremo de un segundo elemento de compresión. Malla estructural de doble capa.

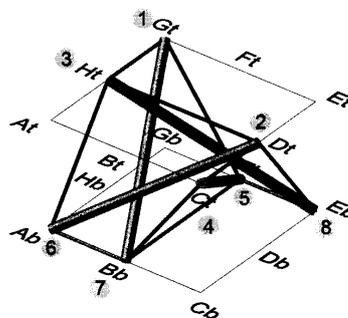


FIGURA 1

ES 2 482 365 B2

## **DESCRIPCIÓN**

### **MÓDULO ESTRUCTURAL DE TENSEGRIDAD Y MALLA ESTRUCTURAL DE DOBLE CAPA QUE COMPRENDE DICHO MÓDULO**

#### **5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN**

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un módulo estructural de tensegridad y un segundo aspecto se refiere a una malla estructural de doble capa que comprende dicho módulo, teniendo aplicación en la industria de la construcción y estructuras, y más concretamente en el ámbito del diseño de estructuras ligeras y/o plegables.

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

15 Las mallas tensegríticas de doble capa (MTDC) son estructuras de Tensegridad que contienen dos mallas traccionadas paralelas, unidas por otra capa intermedia compuesta por elementos comprimidos y traccionados verticales y/o diagonales.

La Tensegridad, pese a no tener una definición universalmente aceptada, puede ser considerada como un principio estructural basado en el empleo de componentes aislados comprimidos que se encuentran dentro de una red traccionada continua, de tal modo que los miembros en compresión (generalmente barras) no se tocan entre sí y están unidos únicamente por medio de elementos traccionados (habitualmente cables) que son los que delimitan espacialmente dicho sistema, que está en equilibrio y es estable por sí mismo. En la práctica, las tensegridades complejas se obtienen por yuxtaposición de módulos tensegríticos más sencillos.

Los elementos comprimidos pueden estar en contacto siempre y cuando estén sólo y únicamente en compresión, nunca en tracción. En dicho caso serán consideradas

estructuras tensegríticas de clase  $k > 1$ , siendo “k” el número de miembros comprimidos que confluyen en el mismo nodo.

5 Las estructuras de Tensegridad, y más concretamente las MTDC, están siendo consideradas cada vez más frecuentemente por parte de arquitectos e ingenieros para la construcción de cubiertas, pasarelas e incluso puentes gracias a su relativa ligereza, capacidad de plegado, eficiencia y flexibilidad, entre otras ventajas. Algunos investigadores han trabajado en la búsqueda de aplicaciones en cubiertas, antenas espaciales, robots, refugios temporales, etc.

10

Algunos de los proyectos sobre MTDC más relevantes son las mallas de semicuboctaedros por Motro (1987) o las posibilidades ofrecidas por la yuxtaposición de módulos tensegríticos básicos exploradas por Hanaor (1987). Un completo catálogo de mallas fue creado por Emmerich (1998) mediante el ensamblaje combinatorio de diferentes prismas y pirámides tensegríticas. En la siguiente década, Kono y Kunieda (1996) diseñaron una MTDC compuesta por módulos en forma de trípode. Probablemente uno de los avances más interesantes de los últimos años sea el conseguido por Vinicius Raducanu, quien propuso una nueva metodología para crear mallas tensegríticas empleando separadores interdependientes en lugar de módulos estables independientes (Raducanu, 2001).

20

Sin embargo, pese a estos trabajos de investigación, las estructuras de tensegridad cuentan también con alguna desventaja, como su elevado coste comparado con otros sistemas, la complejidad de ensamblaje (nudos, principalmente), grandes deformaciones, vibraciones, etc. Algunas de ellas además tienen la pega del peso (comparado con la resistencia), la imposibilidad de plegado, o la rigidez de su geometría, que no permite muchas variaciones. Para su fijación, en según qué casos, la construcción puede resultar complicada e intrincada, y por tanto más lenta y cara.

25

30 En lo que se refiere a la metodología propuesta por Raducanu, mediante separadores interdependientes en vez de módulos estables independientes, su principal desventaja

es que es muy complicado construir mallas complejas como suma de subensamblajes más sencillos. Por tanto, su construcción y montaje es más difícil y complicada.

5 En el documento “Lectures on lost mathematics” de Grünbaum y Shephard (1975), se muestra una imagen, la número 19, en la que aparece un módulo teórico, que no es totalmente cúbico o prismático. Esta circunstancia hace que no sea eficiente a la hora de unirse lateralmente a otros, por lo que no es posible construir a partir de él mallas regulares mediante ensamblaje de módulos yuxtapuestos entre sí. Además, en dicha publicación tan sólo aparece un diagrama ideal, en planta (sin información sobre las  
10 cotas de los vértices) de cómo podría disponerse tal estructura, sin ningún comentario o explicación sobre ella ni, por supuesto, ninguna prueba sobre su estabilidad y plausibilidad real de construcción.

15 En conclusión, los módulos tensegríticos básicos conocidos a día de hoy para composición de mallas están bastante limitados por su rigidez, geometría, imposibilidad de plegado (ideal para el transporte, almacenaje y inmediatez de empleo), etc.

## 20 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a una familia de módulos estructurales de tensegridades de doble capa que permite obtener una pluralidad de mallas estructurales de doble capa.

25 Un primer aspecto de la invención se refiere al módulo estructural de tensegridad como tal, y se encuentra definido por la reivindicación 1. Por otra parte, un segundo aspecto de la invención se refiere a una malla estructural de doble capa formada a partir de diferentes combinaciones entre módulos, tal y como se encuentra definido  
30 por la reivindicación 13.

Estos módulos novedosos pertenecen a una familia, por tener todos ellos características similares en términos de topología y geometría, basadas en simetría rotacional. Esta circunstancia, por tanto, les permite ser usados para generar un vasto catálogo de MTDC.

5

Las principales características de estos módulos es que cuentan con dos capas, una inferior y otra superior, compuestas siempre por elementos a tracción, como por ejemplo cables o membranas, y en algunas ocasiones también por elementos a compresión, como por ejemplo barras. Ambas capas están unidas entre sí por otra  
 10 capa intermedia de elementos a compresión y elementos a tracción dispuestos vertical y/o diagonalmente. El número de elementos a compresión de la capa intermedia es siempre par y mayor o igual que 4. Sucede lo mismo con el número de elementos a tracción de la capa intermedia. La denominación de los módulos depende precisamente del número de barras (Struts en inglés) que los componen,  
 15 tomando los siguientes prefijos: Qua- (4 barras), Six- (6 barras), Octa- (8 barras), Deca- (10 barras), etc. Por lo tanto, se denominarán, respectivamente, Quastrut, Sixstrut, Octastrut, Decastrut, etc.

Cada módulo está comprendido dentro de un prisma, considerando que dicho prisma  
 20 puede ser recto, oblicuo o truncado. Para entender cómo se construye un módulo genérico, se toma el caso particular de un prisma recto de base cuadrada como el representado en la figura 1. Denominamos sus vértices A, B, C..., siendo los de la capa superior At, Bt, Ct...(t de Top en inglés) y los de la capa inferior Ab, Bb, Cb...  
 (b de Bottom en inglés). Por lo cual, las aristas del prisma son Ab-Bb-Cb, Cb-Db-Eb,  
 25 Eb-Fb-Gb, etc. En este modulo, las barras a compresión van, por ejemplo, del vértice Ab de una arista (Ab-Bb-Cb) de una de las bases del prisma (p.ej. la inferior) al punto medio Dt de una arista (Ct-Dt-Et) de un lado adyacente opuesto al vértice de origen Ab, pero de la base opuesta (la superior).

30 Por su parte, los elementos de tracción situados en los lados del prisma se extienden desde cada uno de los nodos intermedios de una capa (por ejemplo, la inferior) a los

que llegue un elemento de compresión (por ejemplo, Bb) hasta el nodo de esquina de la otra capa (por ejemplo, la superior) al que llegue un elemento de compresión que resulte más cercano (por ejemplo, Ct), según un mismo sentido, de modo que cada uno de los nodos de esquina de una capa al que llegue un elemento de compresión (por ejemplo, Ab) está unido mediante un elemento de tracción con el nodo intermedio más cercano de la capa opuesta al que llega un elemento de compresión (por ejemplo, Ht).

En cuanto a los elementos de tracción de las capas inferior y superior, en las configuraciones básicas, dichos elementos de tracción se extienden desde cada uno de los nodos intermedios (por ejemplo, Bb) hasta los nodos intermedios adyacentes (por ejemplo, Fb) así como hasta el nodo de esquina adyacente más cercano (por ejemplo, Ab).

Ya que esta configuración en particular de la figura 1 genera una estructura con cuatro barras, este módulo se denomina Quastrut. Adicionalmente, ya que los elementos a tracción de las bases están dispuestos en forma de S, se le llama Quastrut-S (si tienen forma de Z, se le llama Quastrut-Z). Del mismo modo, si se procede igual con un prisma análogo cuya base tiene seis lados en vez de cuatro, se tiene el caso de la figura 11. Por constar esta estructura de 6 barras, se trata de un Sixstrut. Los casos análogos para 8 barras (Octastrut) y 10 barras (Decastrut) se ilustran en las figuras 12 y 14 respectivamente.

Otra de las principales características y ventajas de estos módulos es que, respetando esta topología y geometría de construcción, las estructuras obtenidas son estables, pues se les puede dotar de un estado de pretensado tal que evita que colapsen y se deformen debido a las tensiones en los elementos a tracción y a compresión. De otro modo, no se conseguiría una estructura de tensegridad en equilibrio, sino tan solo un conjunto caótico de barras y cables totalmente colapsado.

Es destacable que cuanto mayor sea el número de elementos de las estructuras de esta

familia, más inestables serán, debido al mayor número de mecanismos internos del sistema. Para evitar esto, es posible implementarlos añadiendo cables adicionales en el contorno de los primas, para rigidizar dichas estructuras y dotarles de más estabilidad. Esta posibilidad será considerada como alguna de las variaciones de estos módulos. Por lo tanto, partiendo de las configuraciones básicas expuestas, se pueden plantear modificaciones interesantes que también serían estables y mantendrían el equilibrio, que serán expuestas en las parte de realizaciones preferentes.

En lo referente a las ventajas, efectivamente, buena parte de las estructuras conocidas no permiten obtener una pluralidad de configuraciones (ensamblaje combinado de módulos diferentes), así como un montaje sencillo, resultan bastante rígidas, no permitiendo además la mayoría ser plegadas y desplegadas para su transporte y almacenamiento.

El Quastrut tiene diversas ventajas respecto a otros módulos tensegríticos de 4 barras. La primera, la necesidad de menos elementos (10 cables traccionados en lugar de los 12 que requiere el semicuboctaedro estudiado por Motro, por ejemplo, y otros similares) confiere al sistema más ligereza, facilidad de construcción, sensación de transparencia, simplicidad de algunos nudos, etc. Por otra parte, la longitud total de los elementos de un semicuboctaedro de dimensiones 1x1x1 unidades es de 17,3 uds., mientras que un Quastrut-S con las mismas dimensiones externas requiere tan solo 14,5 uds. (16% menor). Además, todos los módulos de partida de esta familia están caracterizados porque a algunos de sus nudos confluyen tan solo 2 cables, en lugar de los 3 habituales, lo que simplifica el diseño y construcción de dichos nudos (y por lo tanto su coste es menor) y permite que cualquier tipo de plegado sea más sencillo y conveniente. Por ejemplo, un Quastrut-S en posición plegada y desplegada es mostrado en la Figura 2, y aunque no se pueda apreciar en la imagen estática, la liberación del elemento que fija el módulo en su posición plegada hace que el módulo vuelva automáticamente a su posición desplegada original gracias al comportamiento elástico de sus tendones.

En lo relativo a la imagen 19 de “Lectures on lost mathematics” de Grünbaum y Shephard (1975), ese diseño es similar al del Quastrut-S, por su análoga topología (unión de vértices mediante elementos) pero su diferente geometría (ubicación de los vértices) es clave porque no asegura la estabilidad del sistema y no es totalmente cúbica o prismática. Esto genera un problema porque la figura ideal dibujada en esa publicación no permite yuxtaponer lateralmente varios de esos módulos rellenando el espacio, por lo que no conseguirían conformar mallas tensegríticas regulares. Además, en dicha publicación tan sólo aparece un diagrama ideal, en planta (sin información sobre las cotas de los vértices), de cómo podría disponerse tal estructura, sin ningún comentario o explicación sobre ella ni, por supuesto, ninguna prueba sobre su estabilidad y plausibilidad real de construcción. En cambio, con el Quastrut-S se consigue una geometría totalmente prismática, con un estado de pretensión que permite que el módulo sea totalmente autoestable, mientras que la estructura ilustrada por Grünbaum y Shephard es solo un diagrama sin ninguna prueba de estabilidad estructural. Además, el Quastrut-S permite un mecanismo de plegado totalmente novedoso que no era ni siquiera imaginado en dicha publicación.

Por su parte, el semicuboctaedro y otros prismas tensegríticos de 4 barras se caracterizan por tener un giro de  $45^\circ$  entre los polígonos cuadriláteros de sus capas superior e inferior. Este hecho hace que la proyección de los cables superiores no sea paralela o perpendicular a la de los cables inferiores, por lo que no se consigue, visto en planta, una sensación de orden, simetría y transparencia que el Quastrut sí alcanza.

Los módulos tensegríticos de 4 barras tradicionales suelen tener una simetría de rotación de  $90^\circ$ , es decir, que un módulo es exactamente igual a sí mismo girado un cuarto de vuelta completa respecto a su eje vertical. Sin embargo, la simetría rotacional del Quastrut es de  $180^\circ$ , por lo que cuando se rota  $90^\circ$  el módulo no es idéntico a sí mismo, la alineación de sus elementos es diferente. Esta circunstancia es muy útil a la hora de formar diferentes combinaciones de MTDC a partir del mismo tipo de módulo, tal y como se verá más adelante.

Finalmente, la distribución de las tensiones y esfuerzos en los diferentes elementos del Quastrut-S es más homogénea que en otros sistemas, lo que es de gran provecho a la hora de optimizar las secciones de los miembros a tracción y compresión de la estructura.

5

En cuanto a otro módulo de la familia, el Sixstrut, también cuenta con la ventaja de que la suma de las longitudes de todos sus miembros es menor que la de otros módulos tensegríticos de 6 barras. En los existentes, un módulo cuya base sea un hexágono regular de lado 1 ud. y altura 1 ud. cuenta con una longitud total de 32,5 uds., mientras que el Sixstrut requiere de tan solo 28,6 uds. (12% menor). Además, la longitud de los miembros comprimidos, las barras, es también menor (17%), lo que ayuda a la estructura aún más en lo que se refiere a volumen de elementos, ligereza y riesgo de pandeo.

10

15

El Sixstrut también es plegable gracias a la configuración de los nudos, 6 de los cuales reciben tan sólo 2 cables, como muestra la Figura 11. Este hecho es análogo al ejemplo mostrado en la figura 2 para el caso del Quastrut-S o en la Figura 13 para el caso del Octastrut.

20

De modo similar a lo que ocurre con los módulos tensegríticos de 4 barras, los de 6 barras cuentan con simetría rotacional de  $60^\circ$ , mientras que en el Sixstrut es de  $120^\circ$ . De este modo, cuando éste último se gira  $60^\circ$ , la alineación de sus miembros varía, lo que ofrece mayor versatilidad a la hora de diseñar diferentes MTDC, algo que no ocurre con los módulos tensegríticos existentes hasta el momento.

25

Para el resto de las familias (Octastruts, Decastruts, etc.) las conclusiones del análisis son similares a las del Sixstrut. La capacidad de plegado del Octastrut se ilustra en la Figura 13.

30

Todos estos módulos son enantiomorfos o quirales, es decir, no son superponibles

con su imagen especular. Por ello, es posible crear composiciones “monogiro”, con únicamente módulos dextrorsos o sinistrorsos, o composiciones “racémicas”, es decir, combinando módulos dextrorsos y sinistrorsos. Por añadidura, dichos ensamblajes se pueden hacer añadiendo módulos “trasladados” o añadiendo módulos “trasladados y girados” (45°, 60°, 90°, etc.) dependiendo de la geometría del módulo base, conformando por tanto una amplia gama de combinaciones. Otras posibles variantes de mallas se pueden conseguir atendiendo al número de cables adicionales que se incorporen al conjunto, especialmente en sus contornos laterales: configuraciones Abiertas (sin cables añadidos), Semicerradas (con cables añadidos sólo en las capas inferior y/o superior), Cerradas (con cables añadidos también en la capa intermedia) y Rígidas (con cables añadidos no sólo en la periferia de la malla sino también en su interior).

En conclusión, la combinación de este tipo de módulos tensegríticos de esta nueva familia genera nuevas e interesantes MTDC, según las diferentes variantes de sus módulos, los modos de ensamblarlos y los métodos para rigidizarlos. La rigidez de las estructuras tensegríticas depende de su geometría, conectividad, propiedad de sus materiales, tanto como de su estado de pretensado. Así que especial atención se ha de prestar a dicho pretensado de estos nuevos módulos y las mallas generadas por ellos.

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1.- Perspectiva del Quastrut-S, disposición de los nodos.

La figura 2.- Perspectiva y planta del Quastrut-S, desplegado y plegado.

- La figura 3.- Perspectiva y planta del Quastrut-S Rígido, con cuatro cables añadidos al Quastrut-S.
- La figura 4.- Perspectiva y planta del Quastrut-Z, disposición de los nodos.
- La figura 5.- Perspectiva del Quastrut-Z, disposición de los cuatro nodos en los que únicamente concurren 2 cables.
- La figura 6.- Perspectiva y planta del Quastrut-Z Rígido, con dos cables añadidos en la capa superior y otros dos cables añadidos en la capa inferior, y donde el cable diagonal de cada capa se sustituye por una barra para conferir estabilidad a la estructura.
- La figura 7.- Perspectiva y planta del Quastrut-S-Z.
- La figura 8.- Perspectiva y planta del Quastrut-S-Z Rígido, con dos cables añadidos al Quastrut-S-Z.
- La figura 9.- Perspectiva del Quastrut-S Piramidal.
- La figura 10.- Perspectiva del Quastrut-S Oblicuo.
- La figura 11.- Planta y perspectiva del Sixstrut.
- La figura 12.- Perspectiva y planta del Octastrut.
- La figura 13.- Perspectiva y planta del Octastrut, desplegado y plegado.
- La figura 14.- Perspectiva del Decastrut.
- La figura 15.- Perspectiva y planta de malla n.º 1 Quastrut-S dextrorse, monogiro, rotación 0°, configuración abierta.
- La figura 16.- Perspectiva y planta de malla n.º 1s Quastrut-S dextrorse, monogiro, rotación 0°, configuración semicerrada.
- La figura 17.- Perspectiva y planta de malla n.º 2 Quastrut-S, monogiro, rotaciones 0° y 90°, configuración abierta.
- La figura 18.- Perspectiva y planta de malla n.º 3 Quastrut-S, racémico, rotación 0°, configuración abierta.
- La figura 19.- Perspectiva y planta de malla n.º 4 Quastrut-S, racémico, rotaciones 0° y 90°, configuración abierta.
- La figura 20.- Perspectiva y planta de malla n.º 1 Sixstrut, monogiro, rotación 0°, configuración abierta.
- La figura 21.- Perspectiva y planta de malla de Sixstrut, racémico 0°-60°,

semicerrada.

La figura 22.- Perspectiva y planta de malla 6-4-3-strut n.º 1r, monogiro, rotaciones 0º y 60º, configuración rígida.

La figura 23.- Perspectiva malla abovedada Quastrut-S n.º 1s, monogiro, rotación 0º, configuración semicerrada.

5

### **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

10

A la vista de las figuras reseñadas puede observarse cómo la invención puede materializarse mediante una pluralidad de las posibles realizaciones de módulos estructurales de tenseguridad independientes.

Quastrut. Figuras 1 a 10.

15

Dos configuraciones innovadoras de módulos compuestos por grupos de cuatro barras, que se denominarán Quastrut por estar formados por 4 barras. Existen dos modos de conectar los cables de las capas de las bases del prisma: en forma de S, con tres tramos formando 90º en sus dos ángulos (Figuras 1 a 3, 9 y 10) o en forma de Z, con tres tramos formando 45º en sus dos ángulos (Figuras 4 a 6). Ambos módulos son enantiomorfos o quirales, es decir, no son superponibles con su imagen especular. Por lo tanto, para cada uno de ellos existen módulos dextrorsos (giro según las manecillas del reloj) y módulos sinistrorsos (giro contrario a las manecillas del reloj). Cuando no se haga ninguna referencia, se entenderá que se trata de módulos dextrorsos.

25

Quastrut-S

Al modulo cuyos cables de las bases toman forma de S se le denominará Quastrut-S (Figura 1). Por su parte, cuando dichos cables formen una Z, se le llamará Quastrut-Z, y se analizará más adelante. El Quastrut-S está compuesto por 4 barras, tres cables

30

superiores, tres cables inferiores y cuatro cables diagonales, formando todos ellos un cuadrado desde la vista en planta y un cuadrado o rectángulo (dependiendo de la altura del módulo) en alzado o perfil. Por lo tanto, el Quastrut-S necesita únicamente 10 cables para ser estable. Gracias a esta particular configuración y a cierta flexibilidad de los cables (o desanclaje provisional) se consigue dotarle de una capacidad de plegado hasta llevarlo a una posición casi plana (Figura 2).

5

La geometría del Quastrut-S viene definida por las coordenadas de la Tabla 1 según la numeración que aparece en las Figuras 1, 2 y 3. Su topología o conexión entre vértices, definiendo sus diferentes elementos, se muestran en la Tabla 2.

10

Nudo	X	Y	Z
1	0.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	0.5000	1.0000
3	0.0000	0.5000	1.0000
4	1.0000	0.0000	1.0000
5	0.5000	1.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.5000	0.0000	0.0000
8	1.0000	1.0000	0.0000

Tabla 1. Coordenadas de los nudos del Quastrut-S, Quastrut-S Rígido, Quastrut-Z Rígido y Quastrut-S-Z Rígido

15

Conexión	Tipo de Elemento
7 - 1	Barras
6 - 2	
8 - 3	
4 - 5	

5 - 8	Cables inferiores
7 - 5	
7 - 6	
2 - 4	Cables superiores
3 - 2	
1 - 3	
1 - 5	Cables diagonales
4 - 7	
8 - 2	
6 - 3	

Tabla 2. Conexión de los diferentes elementos del Quastrut-S

5 El modulo así definido es perfectamente estable por sí mismo pues cuenta con un estado de pretensado ( $s=1$ ). Tiene cinco mecanismos internos ( $m=5$ ), cuatro de ellos correspondientes al desplazamiento relativo de los nudos a los que confluyen dos cables solamente (nudos 1, 6, 4 y 8) y el quinto debido a la rotación relativa de las dos bases entre sí. De hecho, una forma de rigidizar este módulo consistiría en añadir a dichos nudos cables adicionales en las bases del módulo (1-2, 3-4, 5-6 y 7-8 de la

10 Figura 3), consiguiendo reducir el número de mecanismos internos a solamente uno. A esta nueva configuración se la denominará Quastrut-S Rígido, que cuenta con el mismo estado de pretensado que el original del que partía porque estos 4 cables adicionales apenas soportan ningún esfuerzo si el módulo no está cargado.

15 El resto de configuraciones (Quastrut-Z, Quastrut-S-Z, Rígido, etc.) son variaciones de estas configuraciones básicas que le confieren características específicas a cada una de ellas.

20 Basándonos en esta característica topología de los módulos Quastrut, se pueden también definir nuevas configuraciones sobre diferentes prismas cuyas bases tengan

un número par de lados, es decir, hexágonos, octógonos, decágonos, etc. Las nuevas estructuras así formadas se llamarán, siguiendo el mismo patrón ya utilizado para el Quastrut: Sixstrut (Figura 11), Octastrut (Figura 12), Decastrut (Figura 14), etc.

5 Para ver cómo se pueden formar módulos de la misma familia que el Quastrut pero con otros prismas, podemos generalizar la ley de construcción de dicho módulos. Tomemos como base el Quastrut-S de la Figura 1, llamando a sus vértices A, B, C..., siendo los de la capa superior At, Bt, Ct...(t de Top en inglés) y los de la capa inferior Ab, Bb, Cb... (b de Bottom en inglés). Por lo cual, las aristas del prisma son Ab-Bb-Cb, Cb-Db-Eb, Eb-Fb-Gb, etc. En el Quastrut, las barras a compresión van, por ejemplo, del vértice Ab de una arista (Ab-Bb-Cb) de una de las bases del prisma (p.ej. la inferior) al punto medio Dt de una arista (Ct-Dt-Et) de un lado adyacente opuesto al vértice de origen Ab, pero de la base opuesta (la superior). Es decir, que en cualquier módulo de la familia una barra siempre va desde un extremo (Ab) de una arista (Ab-Cb) de la base inferior del prisma hasta el punto medio (Dt) de la arista contigua (del lado opuesto) (Ct-Et) de la base superior del prisma. Esto ocurre no solo en el Quastrut, sino también en el Sixstrut, Octastrut, Decastrut, etc. La configuración de los cables diagonales sigue una ley análoga.

20 Es necesario considerar que el prisma puede ser oblicuo, con directrices no perpendiculares a las bases, o un prisma truncado, con bases no paralelas. Asimismo, también se contempla que el prisma sea considerado una pirámide truncada. De ese modo se incluyen en la invención todos los módulos prismáticos, los piramidales (Figura 9) y los oblicuos (Figura 10).

25

### Sixstrut

El Sixstrut es así denominado, análogamente al Quastrut, por estar compuesto de 6 barras, y se muestra en la Figura 11. Igual que ocurre con el Quastrut-S, este módulo tensegrítico es estable ya que existe un estado de pretensado ( $s=1$ ); cuenta asimismo con 6 mecanismos internos ( $m=6$ ) correspondientes a los desplazamientos

30

inextensionales de los seis nudos a los que confluyen solo dos cables.

Es destacable que cuanto mayor sea el número de elementos de las estructuras de esta familia, más inestables serán, debido al mayor número de mecanismos internos del sistema. Para evitar esto, es posible implementarlos añadiendo cables adicionales en el contorno de los primas, para rigidizar dichas estructuras y dotarles de más estabilidad. Esta posibilidad será considerada como la variante rígida de estos módulos.

Asimismo, debido al modo de definir la geometría de estos módulos, cuando el número de lados de las bases del prisma aumenta, las barras del mismo están cada vez más cerca y es más fácil que se puedan producir contactos o interferencias entre ellas (dependiendo de su grosor).

Como ejemplo, la Figura 12 muestra el Octastrut ( $s=1$ ,  $m=10$ ), en donde se puede apreciar que aunque las barras no se tocan entre sí, al menos están muy cerca las unas de las otras. En este caso, cables adicionales han sido añadidos en la periferia del módulo para incrementar su estabilidad. El hecho de que las barras estén tan próximas podría ser beneficioso si se decidiera incluir articulaciones en los puntos más cercanos de las barras. Estas articulaciones permitirían un plegado y desplegado controlado de dichos módulos, tal y como muestra la Figura 13 para el Octastrut, para el caso de cables flexibles o temporalmente desajustables.

Por lo tanto, este módulo, u otros como el Decastrut (Figura 14) o el Dodecastrut, permiten generar muchas y variadas clases de mallas tensegríticas, basadas en mosaicos o teselados, como el 6-4-3, el 4-8-8, o el 4-6-12, lo que resultaba imposible con otros módulos y mallas existentes hasta ahora.

Variaciones del Quastrut

Quastrut-Z

La segunda variación del Quastrut, expuesta en las Figuras 4 y 5, se da cuando los cables de las bases toman forma de Z, quedando el cable más largo en la diagonal del cuadrado que forman dichas bases. Las coordenadas del Quastrut-Z son las mismas que las del Quastrut-S (tabla 1), pero su topología es diferente y corresponde a los elementos de la Tabla 3 (sin incluir los cables adicionales). Tiene en total 4 mecanismos internos ( $m=4$ ). Sin embargo, contrariamente a los módulos expuestos anteriormente, esta configuración no es estable por sí misma pues no cuenta con ningún estado de pretensado capaz de rigidizar la estructura ( $s=0$ ).

10

Esto es debido a que los cuatro nodos (2, 3, 5 y 7, marcados con círculos en la Figura 5) a los que llegan una barra dos cables solamente no están en equilibrio. Para que esto ocurra, es necesario que la resultante de las tres líneas de fuerza sea nula, para lo que en nuestro caso han de estar en el mismo plano. Como se puede apreciar en dicha figura 5, esto no ocurre en el Quastrut-Z, y el sistema tendería a modificar su posición para alcanzar el equilibrio.

15

Para mantener la posición original del Quastrut-Z, es necesario pues añadir cables adicionales, especialmente a los nudos mencionados. El sistema ilustrado en la Figura 6, que denominaremos Quastrut-Z Rígido, tiene dos pares de cables añadidos diagonalmente en ambas bases (1-2, 3-4, 5-6 y 7-8). De este modo, esa estructura cuenta con un mecanismo interno ( $m=1$ ) y un estado de pretensado ( $s=1$ ) que asegura su estabilidad. Una de las modificaciones necesarias a realizar es sustituir el cable diagonal de cada una de las bases (1-4 y 6-8), por barras a compresión, lo que permite mantener el equilibrio del conjunto. Ya que este cambio produce el contacto entre barras comprimidas, la estructura pasaría a ser de clase  $k=2$ , creando un conjunto encadenado de barras haciendo zigzag entre vértices opuestos. Las conexiones y elementos del Quastrut-Z Rígido se muestran en la Tabla 3.

20

25

30

Conexión	Tipo de Elemento
7 - 1	Barras
6 - 2	
8 - 3	
4 - 5	
6 - 8	
1 - 4	
5 - 6	
2 - 1	
4 - 3	
8 - 7	
6 - 7	Cables inferiores originales
8 - 5	
1 - 3	Cables superiores originales
4 - 2	
1 - 5	Cables diagonales
4 - 7	
8 - 2	
6 - 3	

Tabla 3. Conexión de los diferentes elementos del Quastrut-Z Rígido

Quastrut-S-Z

5

Una tercera variación sería el Quastrut-S-Z (Figura 7), creado cuando las dos configuraciones (S y Z) mostradas anteriormente se combinan entre sí. En este caso, los cables inferiores tienen forma de Z y los superiores forman una S (o viceversa). En este módulo, la posición de los nodos tendría que modificarse sensiblemente para alcanzar el equilibrio, como le ocurre al Quastrut-Z, lo que afecta principalmente a los dos vértices de la base con la forma de Z (nudos 5 y 7 de la Figura 7).

10

5 Evidentemente, igual que en el caso anterior, es posible fijar su geometría (igual a la del Quastrut-S de la Tabla 1) incluyendo cables adicionales en la base cuyos elementos forman una Z, para anclarlos a los nudos 5 y 7. Como se puede apreciar, el cable diagonal de dicha base ha de sustituirse por una barra a compresión. El resultado es el Quastrut S-Z Rígido que se muestra en la Figura 8 y cuya topología se expone en la Tabla 4. Cuenta con tres mecanismos infinitesimales ( $m=3$ ) y un estado de pretensado ( $s=1$ ) que confirma su estabilidad.

10

Conexión	Tipo de Elemento
7 - 1	Barras
6 - 2	
8 - 3	
4 - 5	
6 - 8	
8 - 7	Cables inferiores adicionales
5 - 6	
6 - 7	Cables inferiores originales
8 - 5	
3 - 2	Cables superiores
1 - 3	
4 - 2	
1 - 5	Cables diagonales
4 - 7	
8 - 2	
6 - 3	

Tabla 4 Conexión de los diferentes elementos del Quastrut-S-Z Rígido

## MTDC Quastrut:

Es posible proponer la generación de diversas MTDC componiéndolas a partir de los módulos básicos y sus variantes expuestos más arriba.

5

10

Todos esos módulos son enantiomorfos o quirales, es decir, no son superponibles con su imagen especular. Por ello, es posible crear composiciones “monogiro”, con únicamente módulos dextrorsos o sinistrorsos, o composiciones “racémicas”, es decir, combinando módulos dextrorsos y sinistrorsos. Por añadidura, dichos ensamblajes se pueden hacer añadiendo módulos “trasladados” o añadiendo módulos “trasladados y girados” (45°, 60°, 90°, etc.) dependiendo de la geometría del módulo base, conformando por tanto una amplia gama de combinaciones.

15

20

25

Como se puede observar en la Figura 15, cuando un determinado estado de pretensado ha sido aplicado sobre una MTDC, ésta permanece estable, incluso si parece que le faltan algunos elementos. El diseñador, por motivos estéticos o de resistencia, a lo mejor podría querer tener los contornos de la malla cerrados, tanto en las capas inferior 15-1 y superior 15-3 como en la intermedia 15-2, lo que generaría una configuración Cerrada. En tal caso, la adición de cables en la periferia proveería de mayor estabilidad y rigidez a la malla en conjunto. Si los cables se añadieran sólo a las capas inferior 16-1 y superior 16-3 (cables horizontales) y no a la intermedia 16-2 (cables diagonales) estaríamos ante una configuración Semicerrada, como es el ejemplo de la Figura 16. Además, existen otras variantes, como la Rígida, en la que los cables son incluidos no sólo en la periferia de la MTDC sino también en su interior. En las sucesivas figuras de la 17 a la 22, el número de referencia de las capas inferior, intermedia y superior sigue un número de referencia similar al de las figuras 15 y 16: número\_figura-orden\_capa (ejemplo capa inferior de figura 17: 17-1).

30

Como resultado, tomando como punto de partida la lista de módulos obtenidos anteriormente, es posible crear un amplio catálogo de MTDC atendiendo a las diferentes combinaciones entre ellos. Por ejemplo, para el caso del Quastrut-S, algunas de las posibilidades que ofrece la yuxtaposición de varios de ellos se muestran en la Tabla 5. En dicho cuadro, se han incluido nuevas configuraciones además de la más sencilla, la n° 1, del Quastrut-S Monogiro, 0°, en sus variantes

Abierta (Figura 15), Semicerrada (Figura 16), Cerrada y Rígida. Estas variantes también son aplicables a las otras mallas nº 2, 3 y 4 de dicha tabla, que no se han incluido para no saturar de información. Estos ejemplos se muestran en las Figuras 17, 18 y 19 respectivamente. En la Tabla 5 se expone también la clase de tensegridad (k) que corresponde a cada malla.

5

No.	Módulo	Giro	Rotación	Variación	k
1	Quastrut-S	Mono	0	Abierta	2
1s	Quastrut-S	Mono	0	Semicerrada	2
1c	Quastrut-S	Mono	0	Cerrada	2
1r	Quastrut-S	Mono	0	Rígida	2
2	Quastrut-S	Mono	0-90	Abierta	4
3	Quastrut-S	Racémico	0	Abierta	4
4	Quastrut-S	Racémico	0-90	Abierta	2

Tabla 5. Algunas variaciones de la MTDC Quastrut-S y sus características

10

Análogamente, es inmediato realizar el ejercicio de generar otras MTDC tomando como punto de partida teselados formados por combinaciones de otros polígonos con el mismo número de lados que los módulos obtenidos más arriba. Por ejemplo, para el caso del mosaico de hexágonos, se podrían usar prismas hexagonales. Algunos ejemplos al respecto se muestran en la Tabla 6 y Figuras 20 y 21, con diferentes posibilidades de composición mediante módulos Sixstrut.

15

No.	Módulo	Giro	Rotación	Variación	k
1	Sixstrut	Mono	0	Abierta	3
1s	Sixstrut	Mono	0	Semicerrada	3
1s	Sixstrut	Mono	0	Cerrada-a	3
1s	Sixstrut	Mono	0	Cerrada-b	3
2	Sixstrut	Mono	0-60	Abierta	3

3	Sixstrut	Racémico	0	Abierta	2
4	Sixstrut	Racémico	0-60	Abierta	3

Tabla 6. Algunas variaciones de la MTDC Sixstrut y sus características

Finalmente, para terminar de mostrar la riqueza de combinaciones que se puede obtener con estos módulos, la Tabla 7 expone algunas de las variaciones posibles para la MTDC 6-4-3, compuesta por módulos de 4 lados (Quastrut-S) y de 6 lados (Sixstrut), dejando los intersticios triangulares que hay entre ellos al libre albedrío del diseñador. La Figura 22 muestra una de dichas alternativas, la configuración Rígida en la que dichos huecos de tres lados son arriostrados mediante cables adicionales. El mismo ejercicio podría realizarse con muchos otros teselados, como por ejemplo el 4-8-8, 3-4-6-4, 3-12-12, etc.

No.	Módulo	Giro	Rotación	Variación	k
1	6-4-3-Strut	Mono	0-60	Abierta	3
1s	6-4-3-Strut	Mono	0-60	Semicerrada	3
1c	6-4-3-Strut	Mono	0-60	Cerrada	3
1r	6-4-3-Strut	Mono	0-60	Rígida	3

Tabla 7. Algunas variaciones de la MTDC 6-4-3 y sus características

Un ejemplo concreto de la aplicación de estas mallas es el diseño de una cubierta para un espacio público o un salón de conferencias. Una de las principales ventajas de estas estructuras es que es igual de factible obtener configuraciones planas como abovedadas o en forma de cúpula, como se puede apreciar en la MTDC Quastrut-S, Monogiro, 0°, Cerrada de la Figura 23. Con una elección correcta de apoyos, estas mallas son capaces de cubrir edificios o espacios abiertos para dar cobijo y protección contra la lluvia, el viento, la nieve, etc.

5 A la vista de esta descripción y juego de figuras, el experto en la materia podrá entender que las realizaciones de la invención que se han descrito pueden ser combinadas de múltiples maneras dentro del objeto de la invención. La invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero para el experto en la materia resultará evidente que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes sin exceder el objeto de la invención reivindicada.

**REIVINDICACIONES**

## 1.- Módulo estructural de tensegridad

que está contenido en un prisma definido por una base inferior y una base superior de  
5 2n lados,

donde n es un número entero mayor o igual a 2,

comprendiendo dicho prisma

2n nodos inferiores de esquina situados en correspondencia con los vértices de la  
base inferior y 2n nodos inferiores intermedios situados en correspondencia con la  
10 mitad de cada lado de la base inferior, y

2n nodos superiores de esquina situados en correspondencia con los vértices de la  
base superior y 2n nodos superiores intermedios situados en correspondencia con la  
mitad de cada lado de la base superior, y

comprendiendo dicho módulo al menos 2n elementos de compresión, donde cada  
15 elemento de compresión tiene un primer extremo y un segundo extremo,

de forma que los elementos de compresión tienen situado el primer extremo en la  
base inferior y el segundo extremo en la base superior,

**caracterizado** por que

n primeros elementos de compresión se extienden con un primer extremo desde  
20 nodos inferiores de esquina alternos, teniendo su segundo extremo en el nodo  
superior intermedio del lado adyacente al que contiene el primer extremo, donde  
dicho lado adyacente se extiende desde el nodo inferior opuesto al primer extremo de  
cada elemento de compresión, tomándose el lado adyacente según un mismo sentido  
para los n primeros elementos de compresión,

25 y donde n segundos elementos de compresión se extienden desde nodos superiores de  
esquina alternos, de cuyos correspondientes nodos inferiores no se extiende un  
primer elemento de compresión, teniendo su primer extremo en el nodo inferior  
intermedio del lado adyacente al que contiene el primer extremo, donde dicho lado  
adyacente se extiende desde el nodo superior opuesto al segundo extremo de cada  
30 elemento de compresión, tomándose el lado adyacente según el mismo sentido para  
los n primeros elementos de compresión,

comprendiendo el módulo al menos  $(6n - 2)$  elementos de tracción que tienen un primer extremo, conectado con un extremo de un primer elemento de compresión, y un segundo extremo, conectado con un extremo de un segundo elemento de compresión.

5

2.- Módulo según la reivindicación 1, en el que los elementos de tracción se encuentran en las bases superior e inferior y en los lados del prisma, de forma que los elementos de tracción situados en los lados del prisma se extienden desde cada uno de los nodos intermedios de una capa a los que llegue un elemento de compresión hasta el nodo de esquina de la otra capa al que llegue un elemento de compresión que resulte más cercano, según un mismo sentido, de modo que cada uno de los nodos de esquina de una capa al que llegue un elemento de compresión está unido mediante un elemento de tracción con el nodo intermedio más cercano de la capa opuesta al que llega un elemento de compresión.

10

15

3.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que  $n$  tiene valor 2.

4.- Módulo según las reivindicaciones 2 y 3, en el que los elementos de tracción de las bases del prisma se extienden desde cada uno de los nodos intermedios hasta los nodos intermedios adyacentes así como hasta el nodo de esquina adyacente más cercano.

20

5.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, que comprende tres elementos de tracción en cada base que conectan entre sí sucesivamente los extremos de los elementos de compresión, de forma que dichos tres elementos de tracción forman entre sí sucesivamente  $90^\circ$ , quedando los elementos de tracción centrales de la cara superior e inferior no alineados.

25

6.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, que comprende tres elementos de tracción en cada base que conectan entre sí sucesivamente los extremos de los elementos de compresión, de forma que dichos tres elementos de tracción

30

forman entre sí sucesivamente  $45^\circ$ , quedando los elementos de tracción centrales de la cara superior e inferior no alineados.

5 7.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, que comprende un elemento de tracción, un elemento de compresión y un elemento de tracción en cada base que conectan entre sí sucesivamente los extremos de los elementos de compresión, de forma que dichos tres elementos forman entre sí sucesivamente  $45^\circ$ , quedando los elementos de compresión centrales de la cara superior e inferior perpendiculares, comprendiendo adicionalmente el módulo cuatro elementos de  
10 tracción que conectan los extremos de los elementos de compresión situados en nodos intermedios con los extremos de elementos de compresión situados en la base opuesta del mismo lado.

15 8.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, que comprende tres elementos de tracción en una base que conectan entre sí sucesivamente los extremos de los elementos de compresión, de forma que dichos tres elementos de tracción forman entre sí sucesivamente  $90^\circ$ , comprendiendo tres elementos de tracción en la base opuesta que conectan entre sí sucesivamente los extremos de los elementos de compresión, de forma que dichos tres elementos de tracción forman entre sí  
20 sucesivamente  $45^\circ$ .

9.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que  $n$  tiene valor 3 y comprende  $6n$  elementos de tracción.

25 10.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que  $n$  tiene valor 4 y comprende  $6n$  elementos de tracción.

11.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que  $n$  tiene valor 5 y comprende  $6n$  elementos de tracción.

30 12.- Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que  $n$  tiene valor 6

y comprende 6n elementos de tracción.

13.- Malla estructural de doble capa, que comprende al menos dos módulos estructurales de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores conectados.

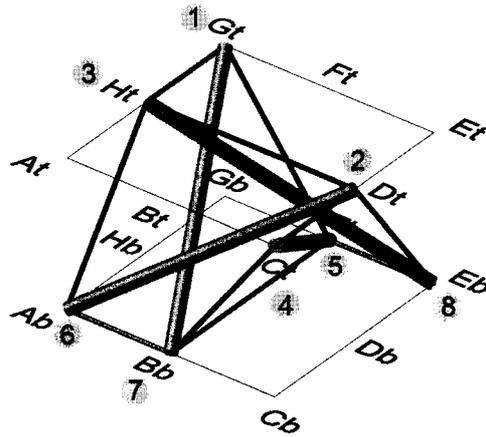


FIGURA 1

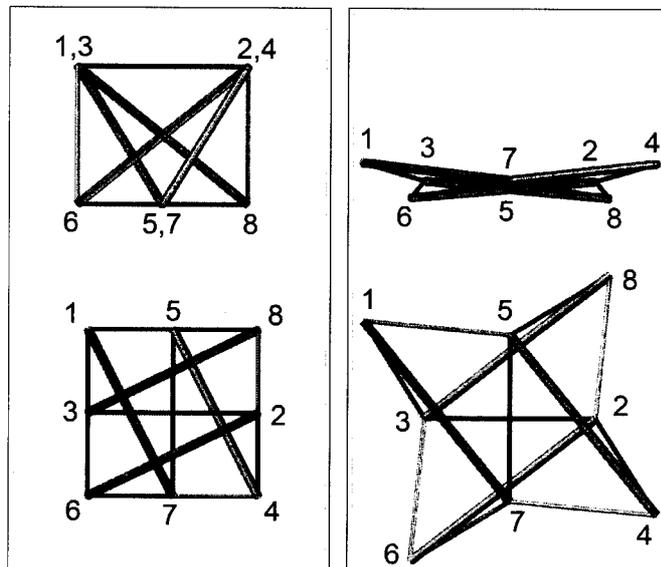


FIGURA 2

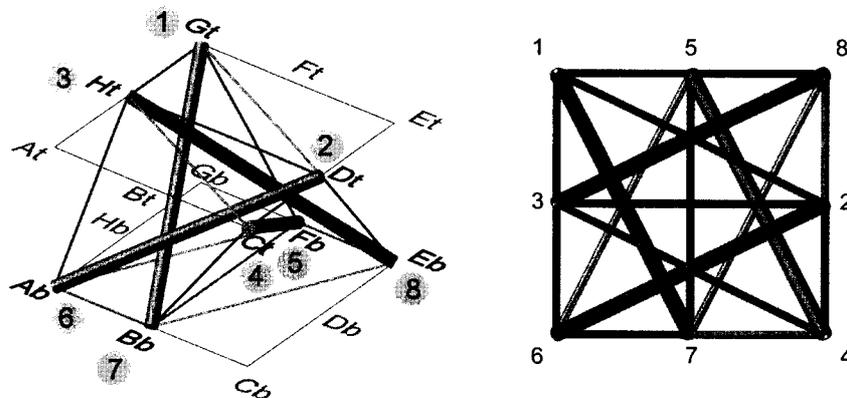


FIGURA 3

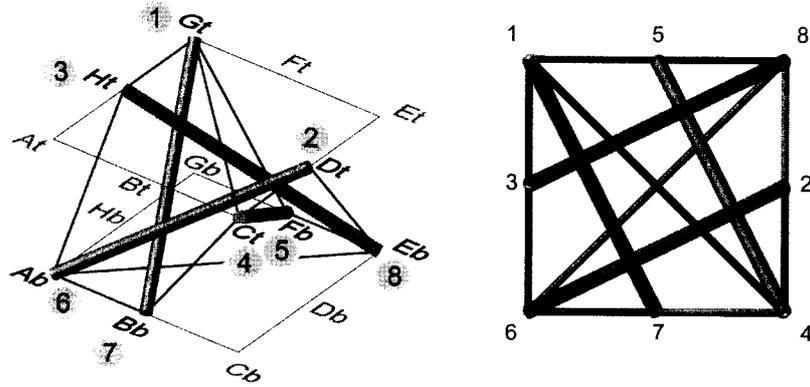


FIGURA 4

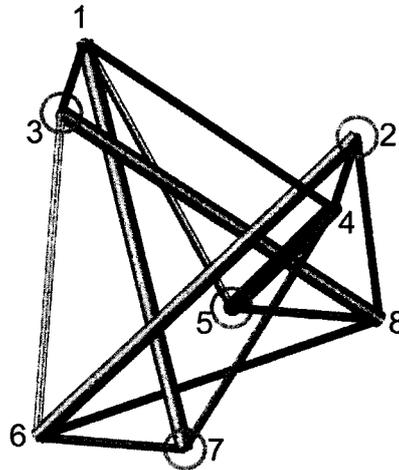


FIGURA 5

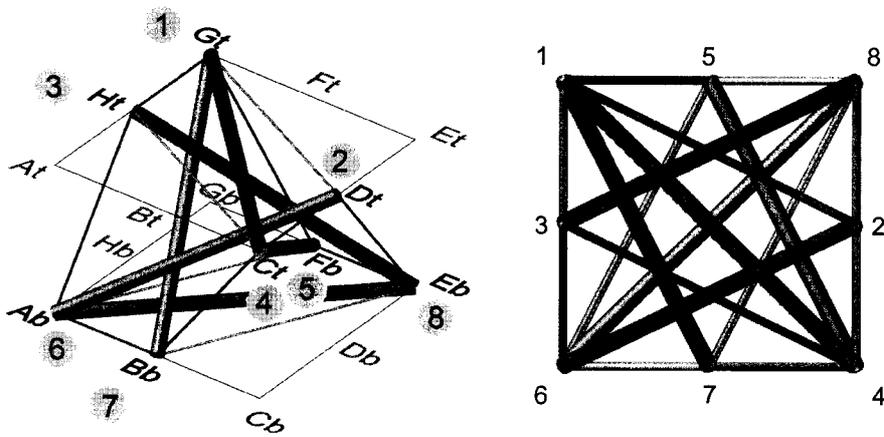


FIGURA 6

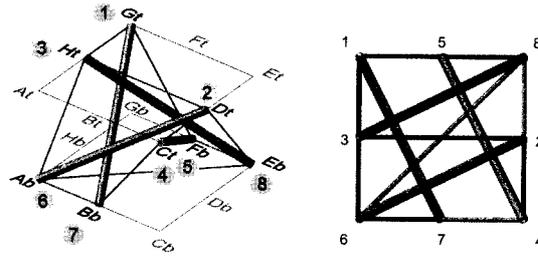


FIGURA 7

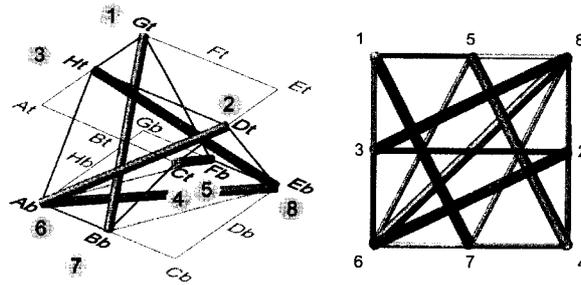


FIGURA 8

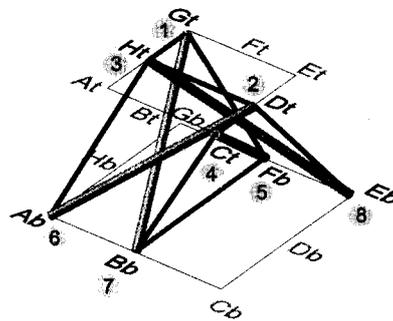


FIGURA 9

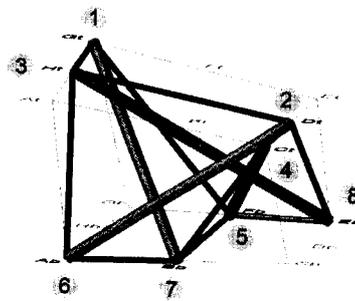


FIGURA 10



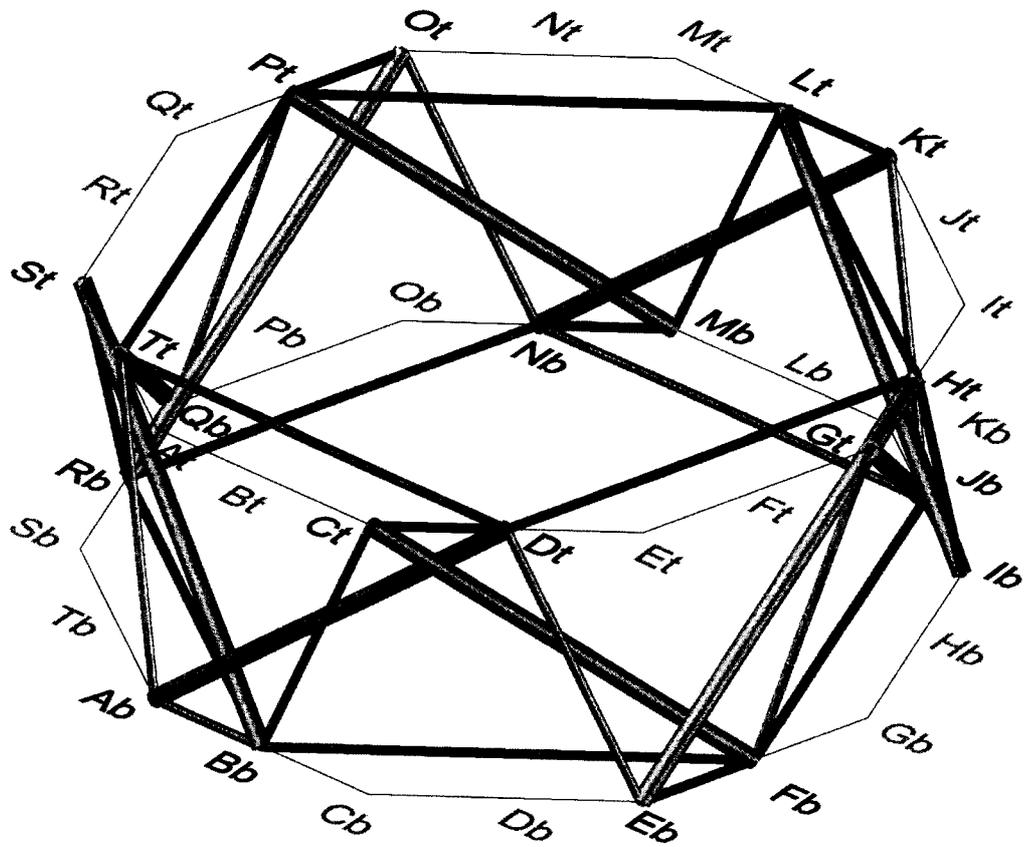


FIGURA 14

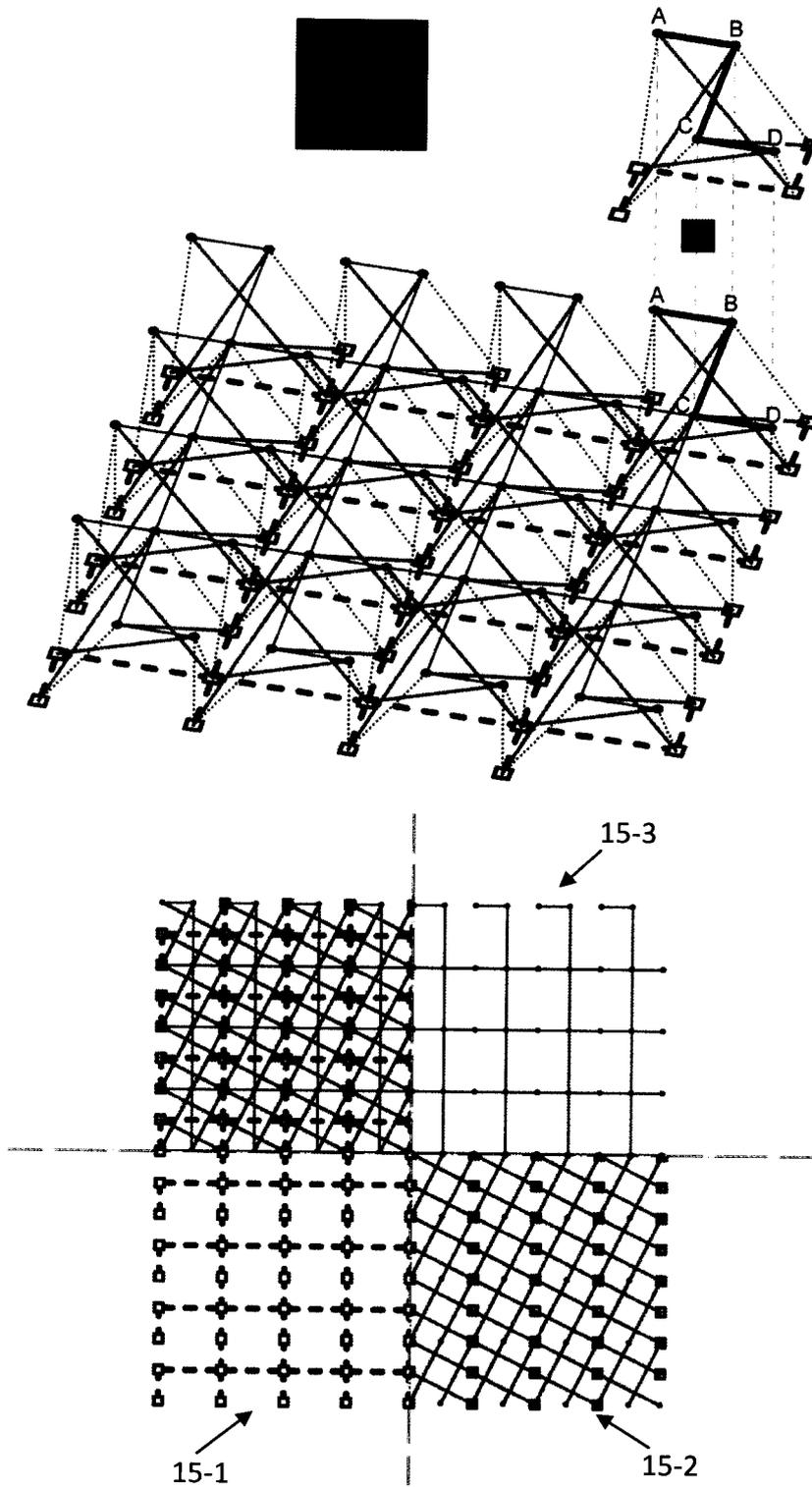


FIGURA 15

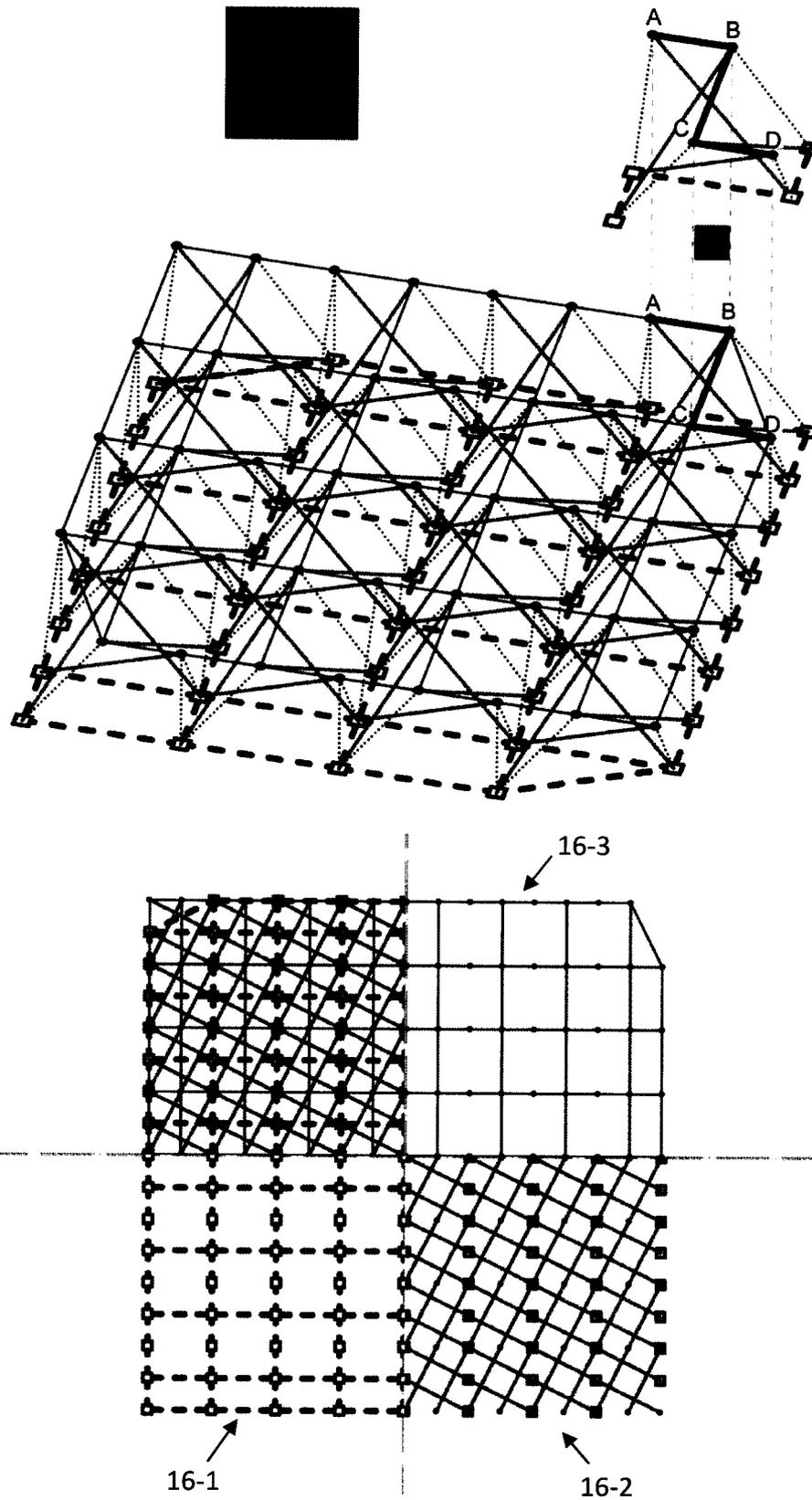


FIGURA 16

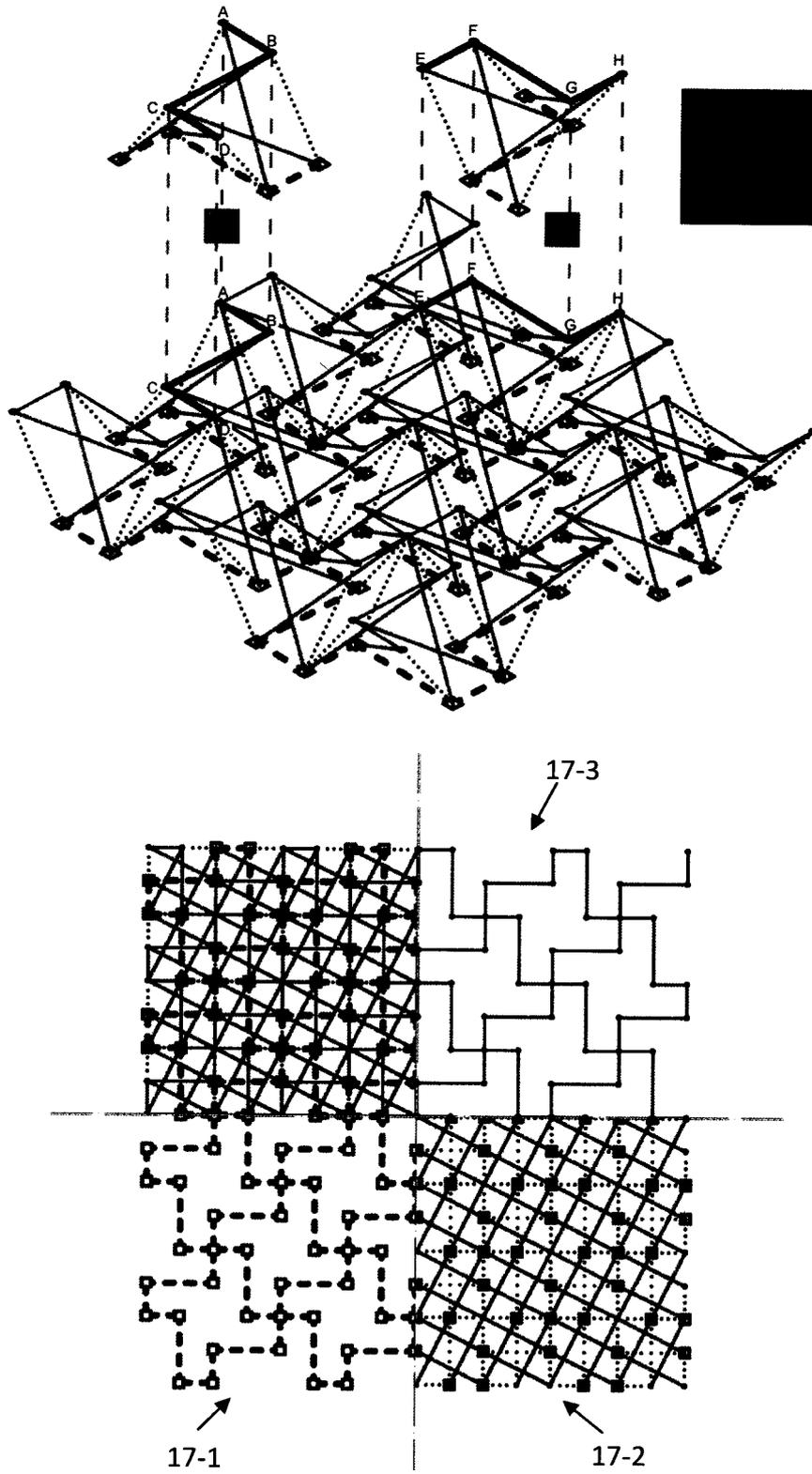


FIGURA 17

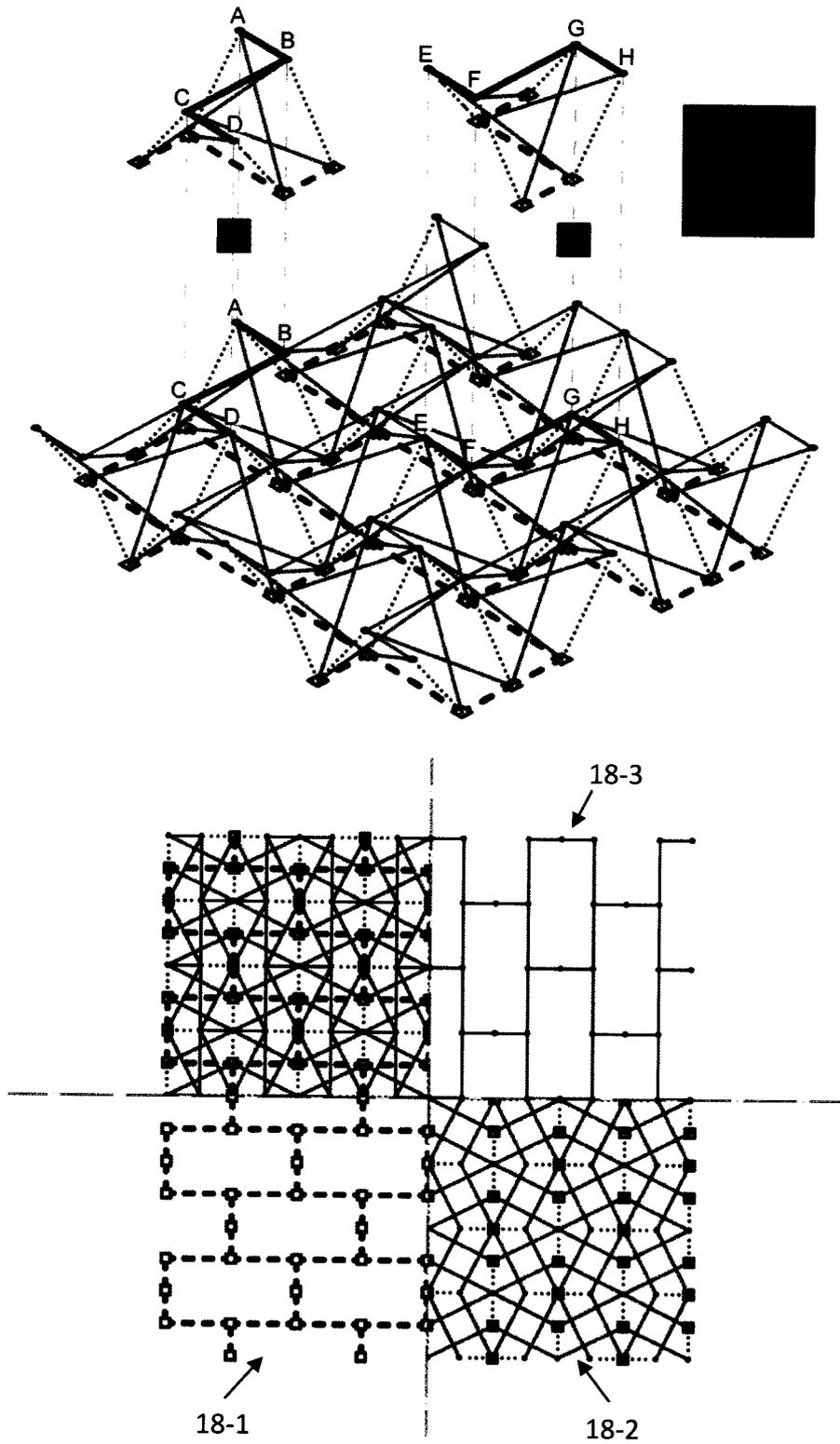


FIGURA 18

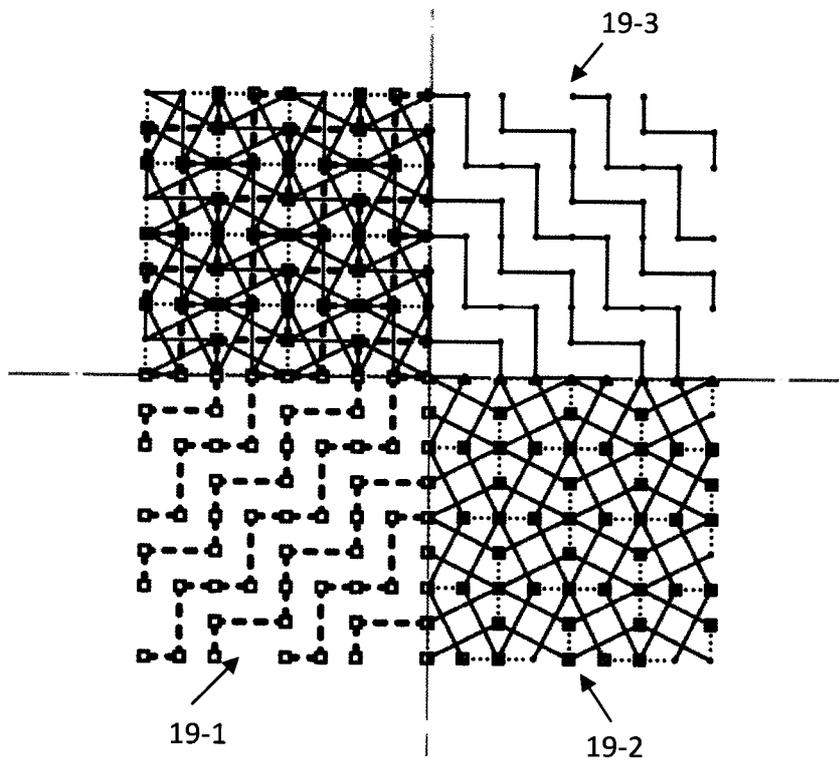
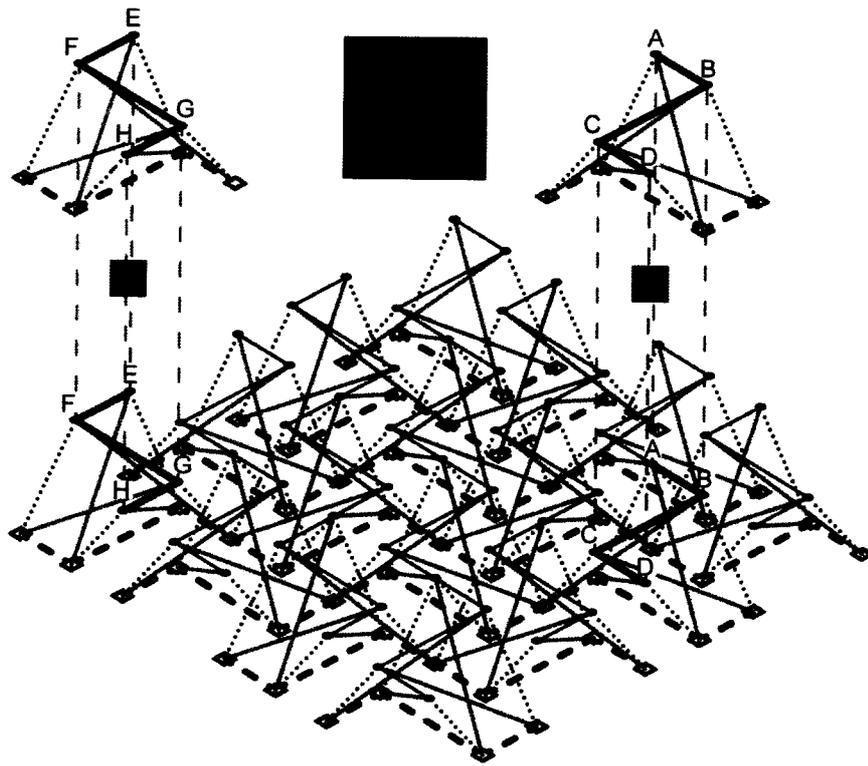


FIGURA 19

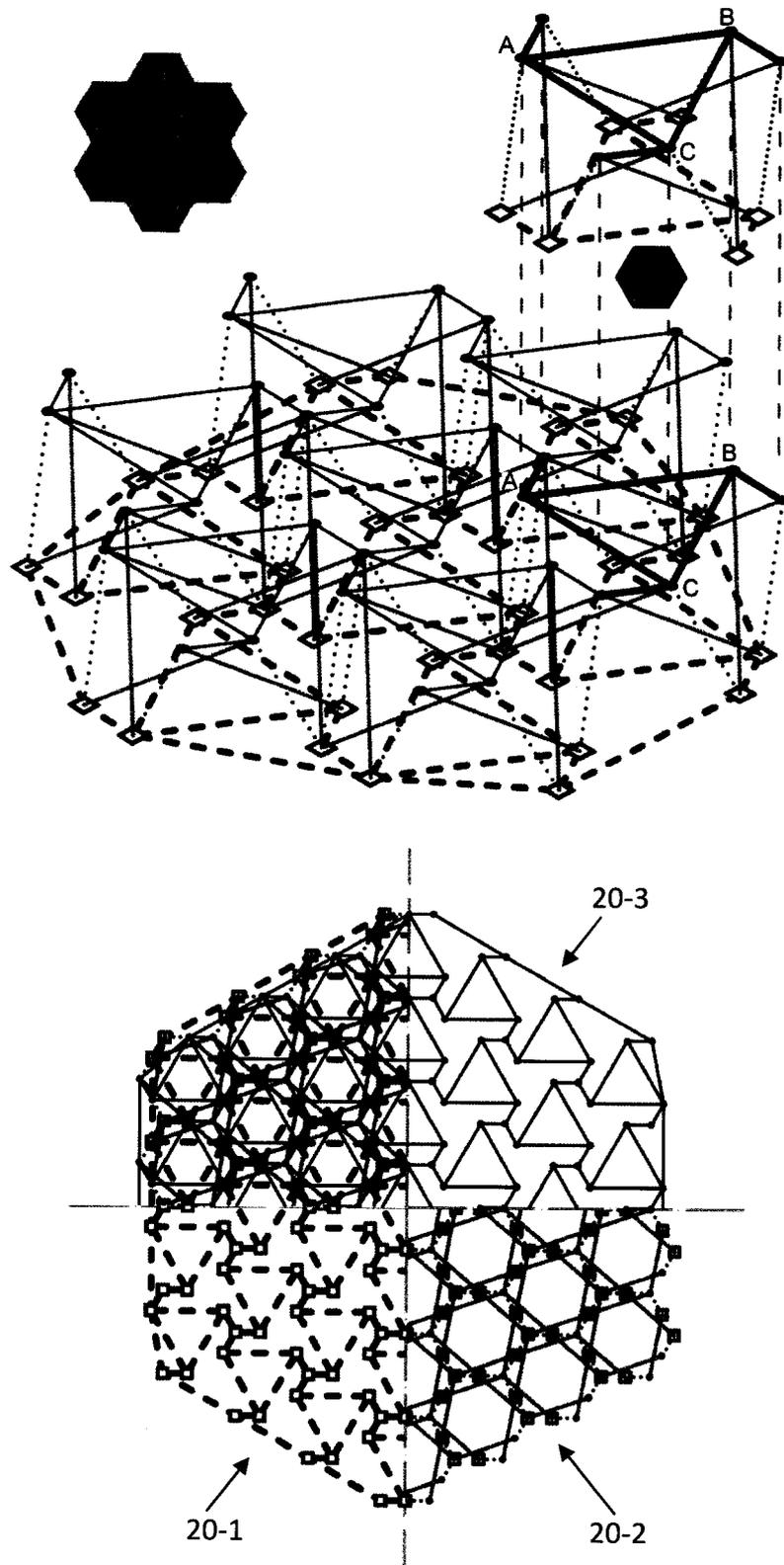


FIGURA 20

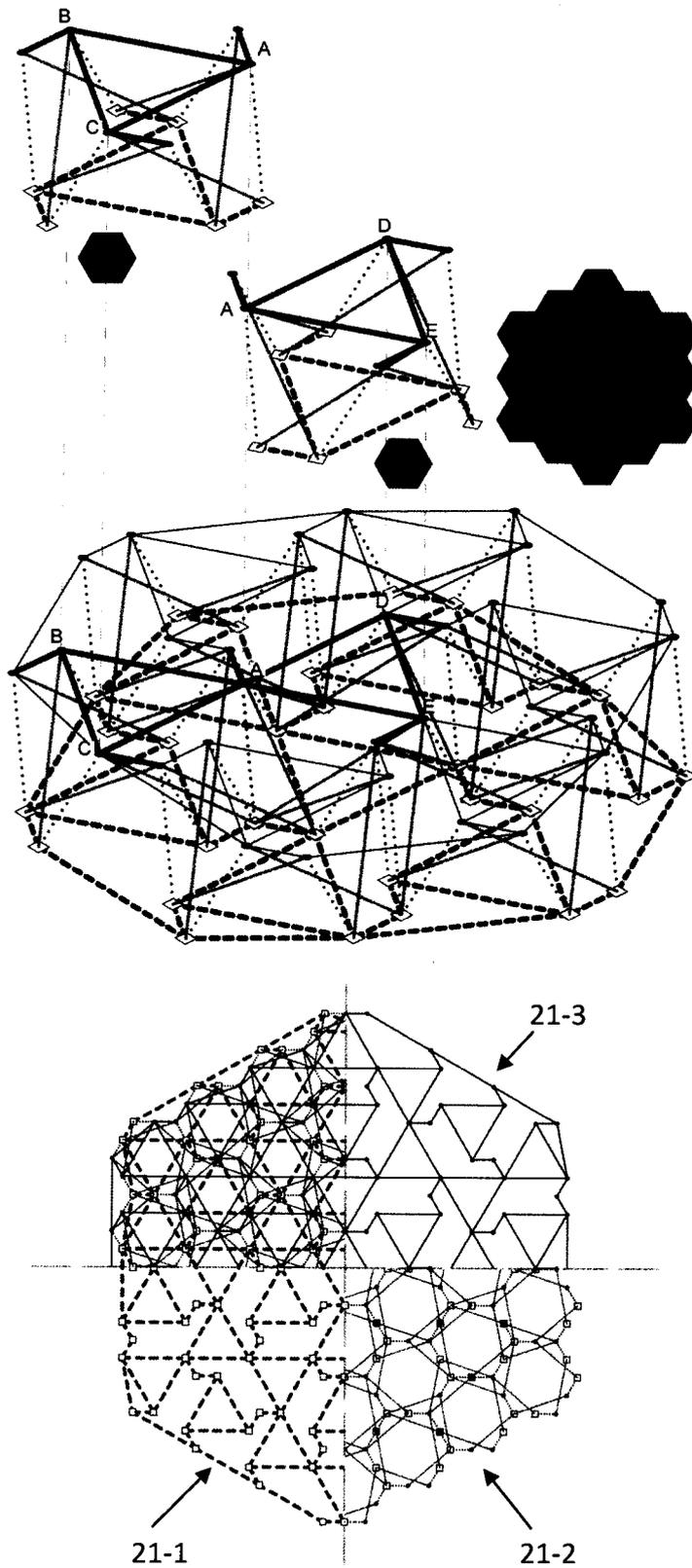


FIGURA 21

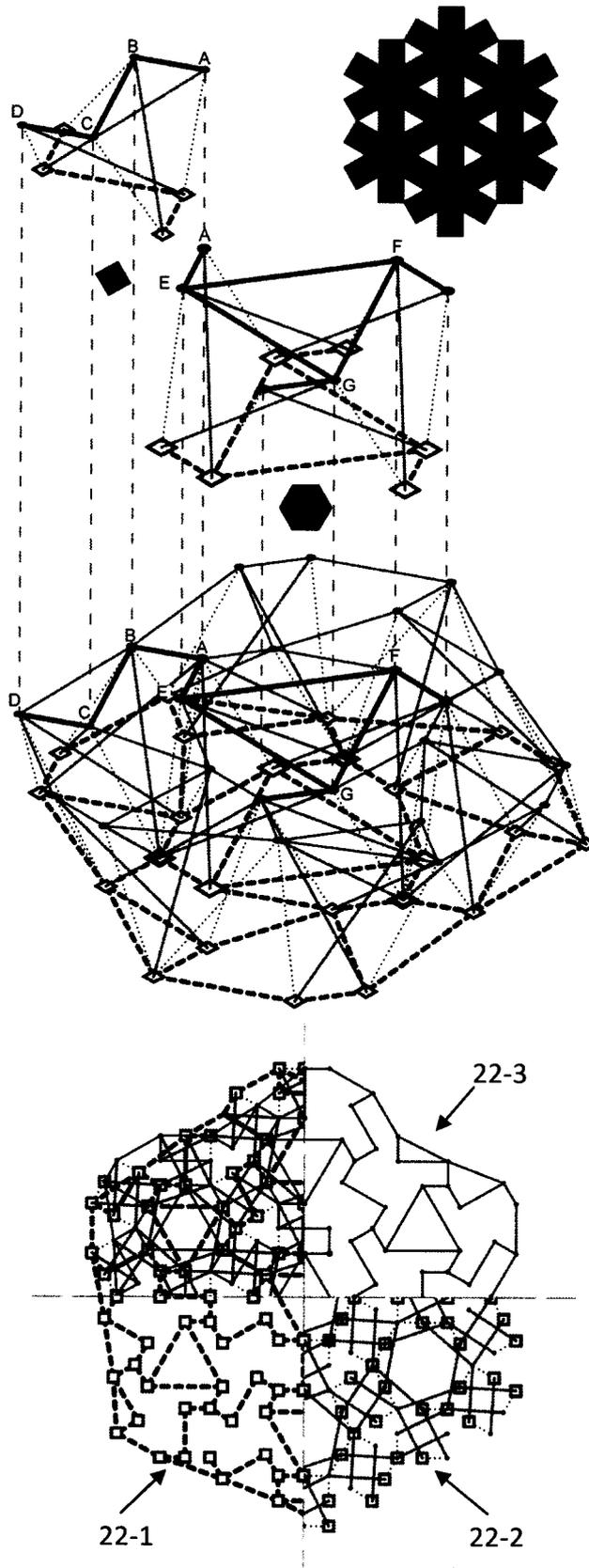
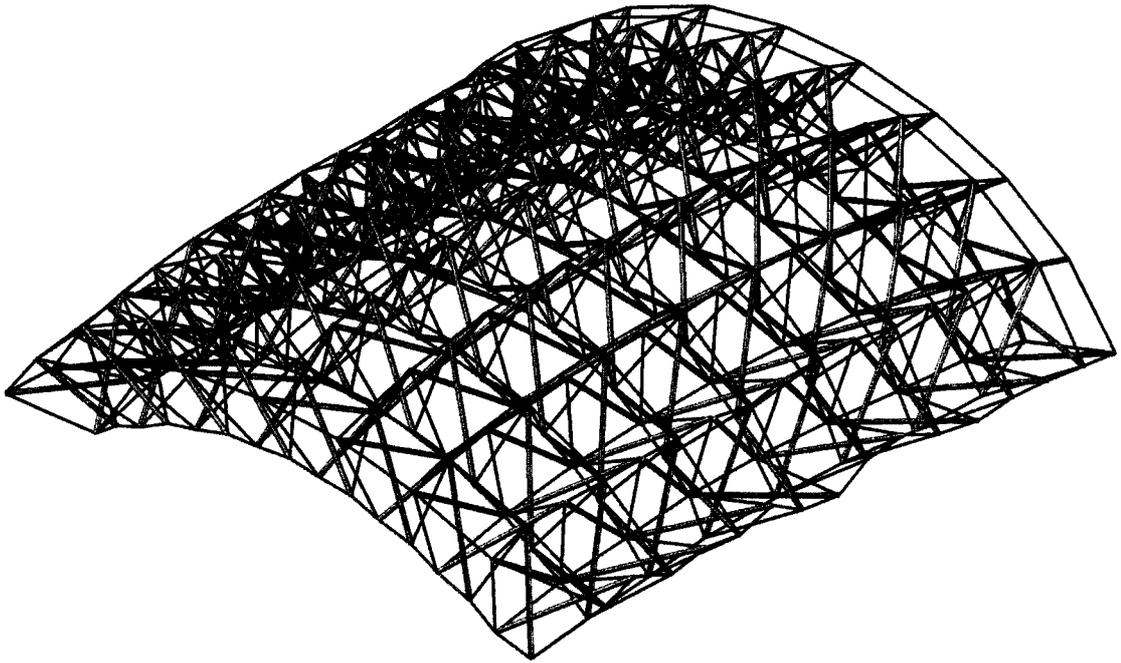


FIGURA 22



**FIGURA 23**



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201200852

②② Fecha de presentación de la solicitud: 23.08.2012

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **E04B1/19** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 02097211 A2 (UNIV TEXAS) 05.12.2002, página 1, línea 5 – página 5, línea 24; figuras 1-7.	1-13
A	WO 02081832 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT et al.) 17.10.2002, página 1, línea 5 – página 12, línea 23; figuras 1-13.	1-13

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
29.10.2013

Examinador  
M. R. Revuelta Pollán

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E04B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.10.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-13	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-13	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 02097211 A2 (UNIV TEXAS)	05.12.2002
D02	WO 02081832 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT et al.)	17.10.2002

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La patente en estudio describe un módulo estructural de tensegridad que permita yuxtaponer lateralmente varios módulos y formar mallas tensegríticas regulares para aplicación en la industria de la construcción, y más concretamente en el ámbito del diseño de estructuras ligeras y plegables.

**Problema técnico:**

Problema técnico planteado: desarrollar un módulo estructural de tensegridad sencillo que permita yuxtaponer lateralmente varios módulos para formar mallas tensegríticas regulares, cuyos módulos sean autoestables, con bajas deformaciones y vibraciones, plegable para su transporte y almacenamiento, y un montaje sencillo.

**Novedad y actividad inventiva:****Reivindicación 1:**

Para lo cual el solicitante describe en su reivindicación 1 las características mínimas esenciales que dan solución a dicho problema técnico, y que se concreta mediante un módulo de tensegridad que está contenido en un prisma definido por una base inferior y una base superior de  $2n$  lados (donde  $n$  es un número entero mayor o igual a 2), compuesto por  $2n$  elementos de compresión (barras) y al menos  $(6n-2)$  elementos a tracción (cables) según una disposición descrita en dichas reivindicación y donde las figuras 1 y 2 representan un ejemplo concreto en que  $n$  es igual a 2.

Los elementos de tracción tienen un primer extremo conectado con un extremo de un primer elemento de compresión, y un segundo extremo conectado con un extremo de un segundo elemento de compresión.

Los documentos del estado de la técnica D01 y D02 buscan estructuras de tensegridad sencillas que permitan yuxtaponer lateralmente varios módulos para formar mallas tensegríticas regulares (D02), cuyos módulos sean autoestables (D01, D02), con bajas deformaciones y vibraciones, plegable para su transporte y almacenamiento (D01), y un montaje sencillo.

El documento D01 no está contenido dentro de un prisma, y los elementos a compresión se extienden desde todos los vértices de la cara inferior (y no de forma alterna).

El documento D02 el módulo está contenido en un prisma (cubo) donde los elementos a compresión se extienden desde todos los vértices de la cara inferior (y no de forma alterna) y van a parar a vértices de la cara superior (y no a un punto intermedio del lado adyacente) de tal forma que el elemento a compresión queda comprendido dentro de una misma cara del prisma.

Ninguna de los documentos D01 y D02 describe un módulo que es a la vez plegable y forme mallas regulares.

Por tanto el objeto de la patente en estudio es nuevo y tiene actividad inventiva.

**Reivindicaciones 2-12:**

Las reivindicaciones 2-12 concretan diferentes posibilidades que están incluidas en la reivindicación 1, como por ejemplo, que el prisma tenga 4 lados o 6, etc, o el número y la disposición de los elementos de tracción ya que estos pueden unir los extremos de los elementos de compresión según diferentes disposiciones y su número puede ser mayor a  $6n-2$ .

Las reivindicaciones 2-13 dependen de la primera reivindicación, y por lo tanto, al igual que ella son nuevas y tienen actividad inventiva.

**Reivindicación 13:**

La reivindicación 13 describe una malla estructural de doble capa que comprende al menos dos módulos de acuerdo a las reivindicaciones 1-12 y por lo tanto, al igual que la reivindicación 1 es nueva y tiene actividad inventiva.

**Conclusión:**

Las reivindicaciones 1-13 son nuevas y tienen actividad inventiva a la vista de los documentos D01 y D02 del estado de la técnica más cercano (Art. 6 y 8 LP 11/1986).