

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2012/131124 A1

(43) Fecha de publicación internacional
4 de octubre de 2012 (04.10.2012) **WIPO | PCT**

- (51) Clasificación Internacional de Patentes:
E04B 1/19 (2006.01) *G06T 17/00* (2006.01)
- (21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2012/000083
- (22) Fecha de presentación internacional:
28 de marzo de 2012 (28.03.2012)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:
P201100375 28 de marzo de 2011 (28.03.2011) ES
- (71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA [ES/ES]; Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros, 39005 Santander, Cantabria (ES).
- (72) Inventores; e
- (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **OTERO GONZALES, César Antonio** [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión, Gráfica, E.T.S. Ingenieros de Caminos., Avda. de los Castros 44, 39005. Santander. Cantabria. (ES). **MANCHADO DEL VAL, Cristina** [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión, Gráfica, E.T.S. Ingenieros de Caminos.,

Avda. de los Castros 44, 39005. Santander. Cantabria. (ES). **ARIAS FERNANDEZ, Rubén** [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión, Gráfica, E.T.S. Ingenieros de Caminos., Avda. de los Castros 44, 39005. Santander. Cantabria. (ES).

- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR THE GEOMETRIC DESIGN OF SPATIAL MESHES USING NURBS SURFACES

(54) Título : MÉTODO DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE MALLAS ESPACIALES MEDIANTE SUPERFICIES NURBS

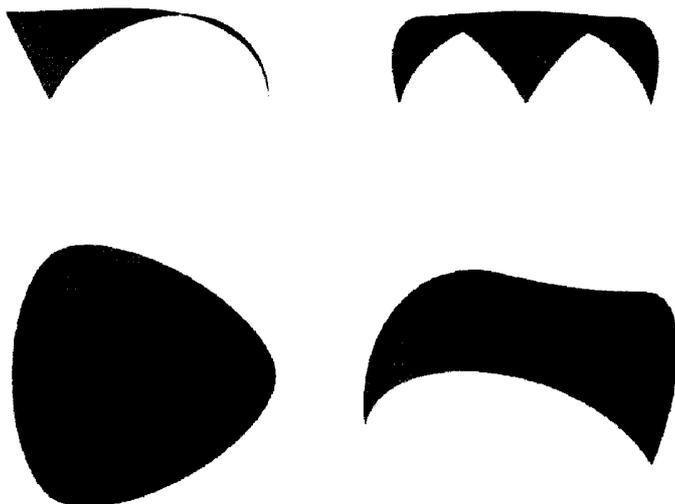


FIGURA 1

(57) Abstract: A method for obtaining a design with the geometry of a spatial mesh formed by a plurality L of linear entities 1', characterized in that it comprises the steps of: choosing three points (C₀₀ C_{0n} C_{n0}) in a plane that defines a triangle; choosing a point (O) outside said plane; choosing an order of complexity n, in which n is a natural number greater than or equal to 1; calculating a set of control points C_i in said triangle, which depend on n and on the three points chosen (C₀₀ C_{0n} C_{n0}); choosing weights λ_{ij}, in which each one of these weights is connected with a control point C_{ij}; transforming the set of control points C_i into a plurality of points P_{ij} that define a control polyhedron; obtaining a NURBS surface from said control polyhedron; within the plane defined by said points (C₀₀ C_{0n} C_{n0}), defining an interlattice with a plurality L of sides 1; transforming said plurality L of sides 1 into a plurality of linear entities 1' constituting said spatial mesh. Meshed structure. Computer program.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]

WO 2012/131124 A1



PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

Un método para obtener un diseño de la geometría de una malla espacial formada por una pluralidad L de entidades lineales l' , caracterizado por que comprende las etapas de: elegir tres puntos $(C_{00} C_{0n} C_{n0})$ en un plano que define un triángulo; elegir un punto (O) ajeno a ese plano; elegir un orden de complejidad n , donde n es un número natural mayor o igual que 1; calcular un conjunto de puntos de control C_{ij} en dicho triángulo que dependen de n y de los tres puntos elegidos $(C_{00} C_{0n} C_{n0})$; elegir unos pesos λ_{ij} donde cada uno de estos pesos se relaciona con un punto de control C_{ij} ; transformar el conjunto de puntos de control C_{ij} en una pluralidad de puntos P_{ij} que definen un poliedro de control; obtener una superficie NURBS a partir de dicho poliedro de control; dentro del plano definido por dichos puntos $(C_{00} C_{0n} C_{n0})$, definir un entramado como una pluralidad L de lados l ; transformar dicha pluralidad L de lados l en una pluralidad de entidades lineales l' constitutivas de dicha malla espacial. Estructura mallada. Programa informático.

MÉTODO DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE MALLAS ESPACIALES MEDIANTE SUPERFICIES NURBS

CAMPO DE LA INVENCION

5

La presente invención pertenece al campo de la arquitectura e ingeniería civil, y más concretamente al diseño de mallas de estructuras espaciales.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10

En el contexto de la arquitectura y la ingeniería civil, una malla espacial se define como una estructura espacial compuesta por barras, las cuales son las responsables de la estabilidad y por lo tanto soportan las cargas de la estructura. La figura 1 muestra un ejemplo de una malla espacial, vista desde varias perspectivas.

15

Así mismo, en el contexto de la computación gráfica, una superficie NURBS (del inglés, *Non Uniform Rational B-splines*) se define como un tipo de superficie definida matemáticamente por la división de dos polinomios completos en dos variables independientes u y v . Dichos polinomios pueden estar escritos en la base de Bernstein, de modo que las componentes de una NURBS en esa base las forman sus puntos de control y sus respectivos pesos.

20

Las superficies NURBS tienen una gran aplicación en el diseño por computador, industrial, aeronáutico y otros, debido a la multitud de formas y complejidad a las que pueden adaptar dichas superficies. Dichos campos de conocimiento necesitan de la materialización lo más exactamente posible de la superficie, a diferencia de lo que sucede en estructuras arquitectónicas, donde se obtiene una aproximación discreta, debido normalmente a problemas de escala y de costes de construcción. Aunque no sólo el campo de la construcción necesita de estructuras discretas, basadas en

25
30

superficies continuas.

El diseño geométrico de una malla espacial trata de definir la posición y longitud de todas y cada una de las barras que componen una estructura. Dichas barras quedan idealizadas como segmentos de recta para que, en posteriores etapas de un proyecto, puedan ser diseñadas estructuralmente, fabricadas y finalmente puestas en obra. Por tanto, el diseño geométrico es un paso esencial en la obtención de una estructura real.

Existen varios procedimientos para diseñar diferentes tipos de mallas espaciales a diferentes tipos de superficies, basados en propiedades geométricas de las superficies a las que se adaptan, y son todos ellos procedimientos requeridos por diseñadores a la hora de concretar técnicamente un proyecto. En ningún caso se obtiene la superficie matemática, a la que se adapta la malla, sino una aproximación discreta de la misma.

Un ejemplo de este tipo de estructuras se define en la patente estadounidense US 2682235. En este documento se define una malla espacial que se adapta a una esfera, mediante una subdivisión de la misma según arcos máximos.

Otro trabajo singular fue el realizado por Joseph D. Clinton (NASA CONTRACTOR REPORT, CR-1734, Advanced Structural Geometry Studies, Part I – Polyhedral Subdivision Concepts for Structural Applications) que realiza una subdivisión diferente para definir otra malla espacial sobre una esfera.

Por otra parte, César Otero y otros en *CR-Tangent Meshes* (Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures: IASS, Vol. 41 (2000) n. 132) describen un método para diseñar geométricamente una estructura espacial desde un plano. En concreto, el método permite el diseño para superficies cuádricas elípticas.

El principal problema derivado del intento de construir una malla espacial, es que se necesita definir los elementos básicos de tipo barra: posición, ángulo, longitud, etc. Dicha definición necesita de un estudio geométrico tridimensional complicado, para

realizar mallas adaptadas a superficies complejas. Por otra parte, la aplicación de métodos ya conocidos, que puedan ofrecer una solución, limitan el diseño de las mallas a ciertos tipos de superficie estudiados.

5 El intentar seleccionar formas de superficie nuevas, y más complejas, hace que la dificultad geométrica crezca, así que esto puede ser una seria razón para que el diseñador no opte por el diseño que desea, sino por la solución conocida.

10 Por otra parte, el artículo *Weighted radial displacement: A geometric look at Bézier conics and quadrics*. *Computer Aided Geometric Design Vol.17, 2000, pp 267–289*, relaciona las cuádricas como superficies NURBS de orden 2 con un plano, mediante un artificio que describen los autores, Javier Sánchez-Reyes y Marco Paluszny, dentro del campo del diseño geométrico asistido por computador. Su objetivo es obtener un procedimiento para identificar parches sobre cuádricas.

15 Sin embargo, actualmente el diseñador de una malla espacial lo hace de forma manual. No se conoce ninguna herramienta que permita diseñar a medida mallas espaciales.

20 **RESUMEN DE LA INVENCION**

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente relativos al diseño de estructuras, mediante un método que permite simplificar el problema tridimensional de una malla espacial, a un entramado definido en un plano.

25 El método ofrece solución para superficies NURBS de orden n , es decir, de cualquier orden. En comparación con superficies NURBS de orden 2, las de orden n permiten mayor libertad de diseño.

30 Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para obtener un diseño de la geometría de una malla espacial formada por una pluralidad de entidades lineales. El método comprende las etapas de:

- elegir tres puntos en un plano que define un triángulo;
- elegir un punto ajeno a ese plano;
- elegir un orden de complejidad n , donde n es un número natural mayor o igual que 1;
- calcular un conjunto de puntos de control en dicho triángulo que dependen de n y de los tres puntos elegidos;
- elegir unos pesos, cada uno de los cuales se relaciona con un punto de control;
- transformar el conjunto de puntos de control en una pluralidad de puntos que definen un poliedro de control;
- obtener una superficie NURBS a partir de ese poliedro de control;
- dentro del plano definido por los tres puntos elegidos en la primera etapa, definir un entramado como una pluralidad de lados;
- transformar esa pluralidad de lados en una pluralidad de entidades lineales constitutivas de la malla espacial objeto del diseño.

Preferentemente, la etapa de calcular un conjunto de puntos de control en el triángulo viene dado por la expresión:

$$C_{ij} = \frac{nC_{00} + iC_{0n} + jC_{n0}}{n}$$

$$i \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n\} \quad j \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n-i\}$$

En una posible realización, el punto ajeno al plano puede ser finito, es decir, definido por sus coordenadas. Alternativamente, ese punto puede estar en el infinito, es decir, definido por una dirección.

Si ese punto es finito, los pesos se eligen libremente, mientras que si el punto es infinito, los pesos valen todos 1.

Preferentemente, la etapa de transformar el conjunto de puntos de control C_{ij} en una pluralidad de puntos P_{ij} que definen un poliedro de control, viene dada por la expresión:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\lambda_{ij}} \text{ si el punto O es finito}$$

$$P_{ij} = C_{ij} + k_{ij} \vec{O} \quad \text{si el punto O en el infinito, con } k_{ij} \in \mathbb{R}$$

y \vec{O} es la dirección del punto O.

Preferentemente, la etapa de obtener una superficie NURBS a partir de dicho poliedro de control, viene dada por la expresión:

$$N_{ij(u,v)} = \frac{C_{00}(1-u-v) + C_{0n}u + C_{n0}v}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} P_{ij} B_{ij}^n(u,v)} \quad \text{para un punto O finito}$$

$$N_{ij(u,v)} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} P_{ij} B_{ij}^n(u,v) \quad \text{para un punto O infinito}$$

$$B_{ij}^n(u,v) = \frac{n!}{i! j! (n-i-j)!} u^i v^j (1-u-v)^{(n-i-j)}$$

$$i \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n\} \quad j \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n-i\}$$

donde (u,v) son las coordenadas baricéntricas del triángulo definido por los puntos del plano inicial, C_{00} C_{0n} C_{n0} .

La etapa de transformar la pluralidad de lados en una pluralidad de entidades lineales constitutivas de la malla espacial objeto del diseño geométrico, se realiza de la siguiente forma: para cada lado:

- obtener las coordenadas (u v) de su primer extremo;
- a partir de dichas coordenadas (u v), calcular el punto $N_{ij}(u,v)$;
- obtener las coordenadas (u v) de su segundo extremo;
- a partir de dichas coordenadas (u v), calcular el punto $N_{ij}(u,v)$;
- siendo la entidad lineal formada por los puntos obtenidos, el transformado del lado.

En una realización particular, se elige $n \geq 2$. Y en una realización todavía más particular, se elige $n \geq 3$.

Asimismo, la invención proporciona una estructura mallada obtenida a partir del método anterior.

5 Por último, la invención proporciona un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las etapas del método descrito anteriormente, cuando el programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una disposición de puertas de campo programable, un circuito integrado de aplicación específica, un microprocesador, un microcontrolador, y cualquier otra forma de hardware programable.

10

Las ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

15

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

20

La figura 1 muestra un ejemplo de una malla espacial, vista desde varias perspectivas.

La figura 2 muestra un plano de referencia definido por tres puntos C_{00} C_{02} C_{20} y cómo ese plano puede transformarse en otro definido por otros tres puntos P_{00} P_{02} P_{20} desde un punto O fuera del plano original.

25

La figura 3 muestra un ejemplo de puntos de control obtenidos, para el caso de $n=4$, dado un plano de referencia definido por tres puntos A B C .

30

La figura 4 muestra un plano que contiene una estructura compuesta por un conjunto de vértices conectados mediante lados.

La figura 5 muestra dos mallas espaciales diferentes, obtenidas con el método de la presente invención.

La figura 6 es un ejemplo de malla espacial adaptada a una NURBS de orden $n=5$.

5

La figura 7 pone de manifiesto la generalidad del método (orden de complejidad n). En concreto, se representa el uso del método para superficies de orden 2, 3, y 4.

10

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

15

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

20

Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

25

A continuación se detalla: en primer lugar, cómo definir una NURBS de cualquier orden n , siendo n cualquier número natural; y en segundo lugar, cómo obtener el diseño de la geometría de una malla espacial que se ajuste a la misma. La malla espacial está formada por un conjunto de entidades lineales l' . En una realización particular, las

30

entidades lineales pueden ser barras. Alternativamente, las entidades lineales pueden ser: columnas, vigas, cables u otro elemento estructural definido por su longitud, o cualquier otra entidad que pueda formar una malla espacial. Para ello se siguen los siguientes pasos:

5 En primer lugar, se eligen tres puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} en un plano que define un triángulo. La figura 2 muestra un plano de referencia definido por tres puntos C_{00} C_{02} C_{20} . A continuación se elige un punto ajeno a ese plano. La figura 2 muestra un punto O ajeno al plano definido por el triángulo. Los tres puntos coplanarios y el punto ajeno al plano se ilustran también en la figura 4. Como el método permite definir una
10 superficie NURBS de cualquier orden, es preciso elegir el orden de complejidad n , es decir, el orden de la NURBS requerida. Este orden n puede ser cualquier número natural incluido $n=1$, aunque el método presenta sus mayores ventajas en diseños con grado de complejidad alto, al menos $n>1$. En el ejemplo de la figura 2 se ha elegido $n=2$.

15 El punto (O) ajeno al plano puede ser tanto finito, es decir, definido por sus coordenadas, como estar en el infinito, es decir, definido por una dirección. En el ejemplo de la figura 2, el punto (O) es finito.

20 A continuación se indica cómo ese plano definido por los tres puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} puede transformarse en otro definido por otros tres puntos, desde el punto O fuera del plano original.

25 Para ello, se calcula un conjunto de puntos de control C_{ij} en el triángulo definido por los tres puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} . Los puntos de control dependen de n y de los tres puntos elegidos C_{00} C_{0n} C_{n0} . Los puntos de control se eligen de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C_{ij} = \frac{nC_{00} + iC_{0n} + jC_{n0}}{n}$$

donde n es el orden de complejidad elegido previamente y los índices i, j son números enteros positivos: $i \in \mathbb{Z}\{0, 1, 2, \dots, n\}$, $j \in \mathbb{Z}\{0, 1, 2, \dots, n - i\}$.

La figura 2 muestra los puntos $C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{10}, C_{11}, C_{20}$ obtenidos para $n=2$. La figura 3 muestra otro ejemplo de puntos de control obtenidos, para el caso de $n=4$, dado un plano de referencia definido por tres puntos A, B, C .

A continuación, se eligen unos pesos λ_{ij} (valores reales) para cada punto de control C_{ij} . En el caso de que el punto ajeno al plano (O) sea finito, los pesos λ_{ij} se eligen libremente, es decir, el diseñador tiene libertad para asignarles el valor que quiera. Por el contrario, en el caso de que el punto (O) sea infinito, los pesos λ_{ij} valen todos 1.

El siguiente paso es el de transformar el conjunto de puntos de control C_{ij} en un conjunto de puntos P_{ij} que definen un poliedro de control. Esta transformación viene dada por la expresión:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\lambda_{ij}} \quad \text{en el caso de que el punto } O \text{ sea finito}$$

$$P_{ij} = C_{ij} + k_{ij} \vec{O} \quad \text{si el punto } O \text{ es el infinito, con } k_{ij} \in \mathbb{R}$$

y \vec{O} es la dirección del punto O .

20

La figura 2 ilustra la transformación de los puntos de control $C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{10}, C_{11}, C_{20}$ en un conjunto de puntos $P_{00}, P_{01}, P_{02}, P_{10}, P_{11}, P_{20}$ para el ejemplo mencionado anteriormente.

Definidos estos puntos de control y estos pesos, a partir del poliedro de control se puede obtener la ecuación de NURBS de orden n (superficie a la que se va a adaptar la malla espacial que se desea construir), que viene dada por la expresión

25

$$N_{ij(u,v)} = \frac{C_{00}(1-u-v) + C_{0n}u + C_{n0}v}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \lambda_{ij} B_{ij}^n(u,v)} \quad \text{para un punto O finito}$$

$$N_{ij(u,v)} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} P_{ij} B_{ij}^n(u,v) \quad \text{para un punto O infinito}$$

5

donde

$$B_{ij}^n(u,v) = \frac{n!}{i!j!(n-i-j)!} u^i v^j (1-u-v)^{(n-i-j)}$$

$$i \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n\} \quad j \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n-i\}$$

10

y donde (u,v) son las coordenadas baricéntricas del triángulo definido por los puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} .

15

El siguiente paso para conseguir la malla espacial es, dentro del plano definido por los puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} , definir un entramado como un conjunto L de lados l. Este entramado representa los lados que, una vez proyectados espacialmente, representarán las entidades lineales que formen la malla espacial. Este entramado puede tan exhaustivo como se desee, es decir, se pueden definir tantos lados l como quiera el diseñador. También es posible que unas zonas del plano definido por los puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} , estén muy densamente poblados de este entramado de lados, mientras que otras zonas de ese plano estén vacíos o menos densamente poblados de lados.

20

La figura 4 muestra el entramado (conjunto L) de lados y se destaca uno de esos lados l. Los vértices del lado l se han denominado A B.

25

Este entramado en el plano definido por los puntos C_{00} C_{0n} C_{n0} puede describirse también como una triangularización genérica sobre dicho plano, pudiendo afectar a la totalidad del plano o tan sólo a una región del mismo. Es decir, a partir de cualquier punto de dicho plano, se construye una pluralidad de triángulos. Además puede contener “islas”, zonas sin triángulos. Es decir, no es necesario que la triangulación sobre el plano sea exhaustiva y completa. Los puntos que determinan el entramado o triangularización los elige el diseñador como quiera (de forma aleatoria, de acuerdo con un determinado criterio, etc.), en función de la malla que quiera obtener. De esta forma,

30

el plano contiene una estructura compuesta por un conjunto de vértices conectados mediante lados. Al conjunto de lados le llamaremos L y a un elemento de él, un lado cualquiera, le llamaremos l . Cada lado l está formado por dos puntos A y B que son sus puntos extremos (vértices).

5

Por último, se transforma el conjunto L de lados l en una pluralidad de entidades lineales l' constitutivas de la malla espacial. Esto también se ilustra en la figura 4, en la que se destaca la transformación del lado l en la entidad lineal l' , cuyos vértices se han llamado A' B' . Esta transformación se realiza de la siguiente forma:

10

Para cada lado l del conjunto L de lados que forman el entramado en el plano C_{00} C_{0n} C_{n0} :

- obtener las coordenadas (u, v) de su primer extremo (A);
- a partir de esas coordenadas (u, v) del primer extremo, calcular el punto $N_{ij}(u, v)$ denominado A' , que es el punto transformado del vértice A en la superficie NURBS obtenida previamente;
- obtener las coordenadas (u, v) de su segundo extremo (B);
- a partir de esas coordenadas (u, v) del segundo extremo, calcular el punto $N_{ij}(u, v)$ denominado B' , que es el punto transformado del vértice B en la superficie NURBS obtenida previamente;

15

20

La entidad lineal l' formada por los puntos A' B' es el transformado del lado l .

25

Dicho con otras palabras, en esta etapa se establece una relación entre la triangularización del plano indicada antes y una malla espacial que se adapta a una superficie NURBS de orden n .

30

Este proceso es iterativo, es decir, se repite para cada lado l del entramado definido con anterioridad, y termina al recorrer todos los lados requeridos. Tanto lados l hayamos definido, tantas barras l' se obtienen en la estructura de malla.

Como se ha indicado anteriormente, el método permite definir una superficie NURBS de cualquier orden, incluido $n=1$, aunque el método presenta sus mayores ventajas en diseños con grado de complejidad alto, al menos $n>1$. Por esta razón, el método presenta sus mayores ventajas para $n \geq 2$, y más particularmente, para $n \geq 3$.

Finalmente, la invención permite diseñar cualquier estructura mallada obtenida a partir del método descrito anteriormente.

A continuación se muestran varios ejemplos que ilustran el resultado final (estructura mallada formada por entidades lineales).

En la figura 5 se representan dos mallas espaciales diferentes. En las ventanas “f” y “g” de la figura 5 las dos mallas se ven en perspectiva. Ambas son NURBS de orden 3 ($n=3$). En la ventana “a” se representan dos posibles triangularizaciones del plano, que establece el método descrito anteriormente. La de la izquierda corresponde con la malla de la ventana “f”. La triangularización de la derecha corresponde a la malla de la ventana “g”. La ventana “b” nos advierte de esta correspondencia. En la ventana “c” podemos ver ambas mallas en una vista en planta -vertical- y apreciar su diferencia. Sin embargo, en la ventana “d”, que nos muestra una vista lateral, podemos apreciar que ambas mallas también tienen similitudes. La ventana “e” muestra otra vista lateral diferente. En ella se muestra que las mallas, en realidad, se están adaptando a la misma superficie NURBS de referencia, que define el método de la invención. Se aprecia su coincidencia.

Para este caso se utilizaron los siguientes datos:

Coordenadas C_{00} C_{03} C_{30} O

$C_{00}=(1, 0, 1)$, $C_{03}=(-0,5, 0.866, 1)$, $C_{30}=(-0.5, -0.866, 1)$, $O=(0, 0, 0)$

Pesos

$\lambda_{00}=1$, $\lambda_{01}=0.5$, $\lambda_{02}=0.5$, $\lambda_{03}=1$

$$\lambda_{10}=0.5, \lambda_{11}=0.75, \lambda_{12}=0.5$$

$$\lambda_{20}=0.5, \lambda_{21}=0.5$$

$$\lambda_{30}=1$$

- 5 La figura 6 es un ejemplo de malla espacial adaptada a una NURBS de orden 5 ($n=5$): La ventana "a" muestra su vista en planta. Las ventanas "b" y "c" son vistas laterales, y la ventana "d" una vista general.

Para este caso se utilizaron los siguientes datos:

10

Coordenadas C_{00} C_{05} C_{50} O

$$C_{00}=(1, 0, 1), C_{05}=(-1, 1, 1), C_{50}=(-1, -1, 1), O=(0, 0, 0)$$

Pesos

$$\lambda_{00}=2, \lambda_{01}=2, \lambda_{02}=1, \lambda_{03}=1, \lambda_{04}=2, \lambda_{05}=2$$

15

$$\lambda_{10}=2, \lambda_{11}=1, \lambda_{12}=3, \lambda_{13}=1, \lambda_{14}=2$$

$$\lambda_{20}=1, \lambda_{21}=3, \lambda_{22}=3, \lambda_{23}=1$$

$$\lambda_{30}=1, \lambda_{31}=1, \lambda_{32}=1$$

$$\lambda_{40}=2, \lambda_{41}=2$$

$$\lambda_{50}=3$$

20

Como puede observarse, una de las grandes ventajas del método de la invención es que se controla la forma matemática de la estructura.

25

La figura 7 pone de manifiesto la generalidad (n) del método. En esta figura se representa el uso del método, para superficies de orden 2, 3, y 4. Obviamente, esto es generalizable a n cualquiera.

30

REIVINDICACIONES

1. Un método para obtener un diseño de la geometría de una malla espacial formada por una pluralidad L de entidades lineales l', caracterizado por que comprende las etapas de:

-elegir tres puntos (C_{00} C_{0n} C_{n0}) en un plano que define un triángulo;

-elegir un punto (O) ajeno a ese plano;

-elegir un orden de complejidad n, donde n es un número natural mayor o igual que 1;

-calcular un conjunto de puntos de control C_{ij} en dicho triángulo que dependen de n y de los tres puntos elegidos (C_{00} C_{0n} C_{n0})

-elegir unos pesos λ_{ij} , donde cada uno de estos pesos se relaciona con un punto de control C_{ij} ;

-transformar el conjunto de puntos de control C_{ij} en una pluralidad de puntos P_{ij} que definen un poliedro de control;

-obtener una superficie NURBS a partir de dicho poliedro de control;

-dentro del plano definido por dichos puntos (C_{00} C_{0n} C_{n0}), definir un entramado como una pluralidad L de lados l;

-transformar dicha pluralidad L de lados l en una pluralidad de entidades lineales l' constitutivas de dicha malla espacial.

2. El método según la reivindicación 1, donde dicha etapa de calcular un conjunto de puntos de control C_{ij} en dicho triángulo viene dado por la expresión:

$$C_{ij} = \frac{nC_{00} + iC_{0n} + jC_{n0}}{n}$$

$$i \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n\} \quad j \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n-i\}$$

3. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, donde dicho punto (O) ajeno al plano puede ser finito, es decir, definido por sus coordenadas, o puede estar en el infinito, es decir, definido por una dirección.

4. El método según la reivindicación 3, donde si dicho punto (O) es finito, los pesos λ_{ij} se eligen libremente, mientras que si dicho punto (O) es infinito, los pesos λ_{ij} valen todos 1.

5. El método según la reivindicación 4, donde la etapa de transformar el conjunto de puntos de control C_{ij} en una pluralidad de puntos P_{ij} que definen un poliedro de control, viene dada por la expresión:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\lambda_{ij}} \text{ si el punto O es finito}$$

$$P_{ij} = C_{ij} + k_{ij} \vec{O} \text{ si el punto O es el infinito, con } k_{ij} \in \mathbb{R}$$

10 y \vec{O} es la dirección del punto O.

6. El método según la reivindicación 5, donde dicha etapa de obtener una superficie NURBS a partir de dicho poliedro de control, viene dada por la expresión:

$$15 \quad N_{ij(u,v)} = \frac{C_{00}(1-u-v) + C_{0n}u + C_{n0}v}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \lambda_{ij} B_{ij}^n(u,v)} \text{ para un punto O finito}$$

$$N_{ij(u,v)} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} P_{ij} B_{ij}^n(u,v) \text{ para un punto O infinito}$$

$$B_{ij}^n(u,v) = \frac{n!}{i! j! (n-i-j)!} u^i v^j (1-u-v)^{(n-i-j)}$$

$$20 \quad i \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n\} \quad j \in \mathbb{Z}\{0,1,2,\dots,n-i\}$$

donde (u,v) son las coordenadas baricéntricas del triángulo definido por los puntos $C_{00} C_{0n} C_{n0}$.

25 7. El método según la reivindicación 6, donde dicha etapa de transformar dicha pluralidad L de lados l en una pluralidad de entidades lineales l' constitutivas de dicha malla espacial, se realiza de la siguiente forma:

-para cada lado l:

30 -obtener las coordenadas (u v) de su primer extremo (A);

-a partir de dichas coordenadas (u v), calcular el punto N_{ij} (u,v) denominado A';

-obtener las coordenadas (u v) de su segundo extremo (B);

-a partir de dichas coordenadas (u v), calcular el punto N_{ij} (u,v) denominado B';

-siendo la entidad lineal l' formada por los puntos A' B', el transformado del lado l;

8. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde $n \geq 2$.

9. Estructura mallada obtenida a partir del método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

10. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las etapas del método según cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 8, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una disposición de puertas de campo programable, un circuito integrado de aplicación específica, un microprocesador, un microcontrolador, y cualquier otra forma de hardware programable.

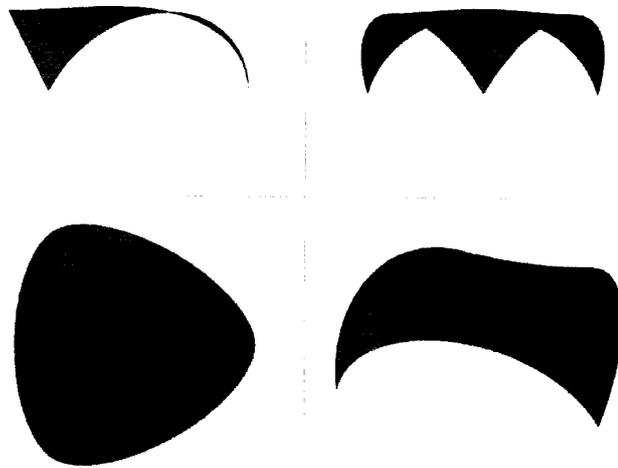


FIGURA 1

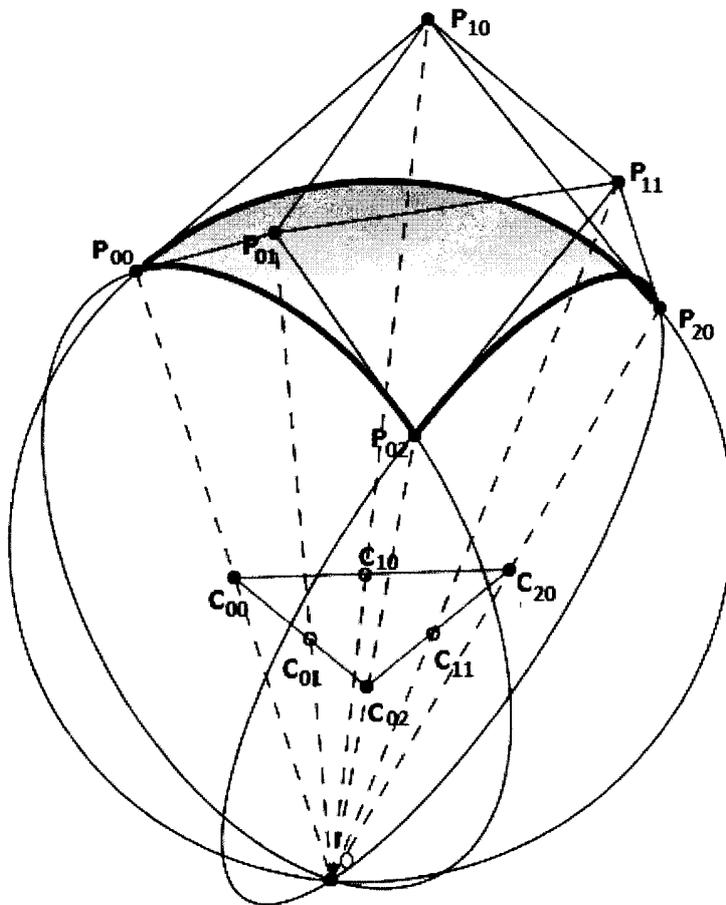


FIGURA 2

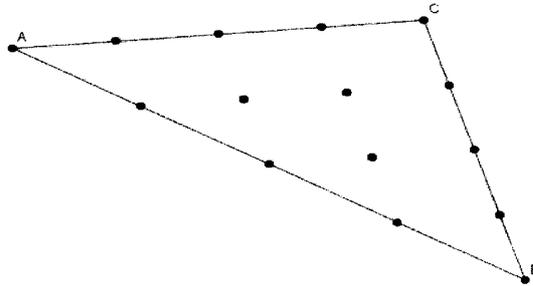


FIGURA 3

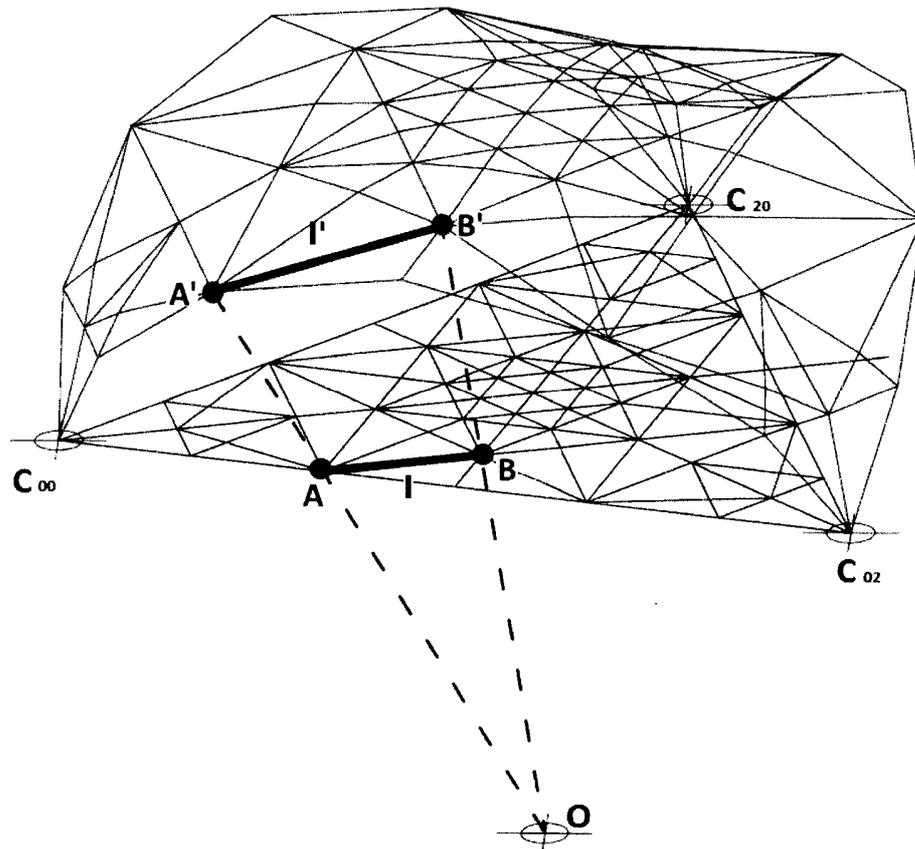


FIGURA 4

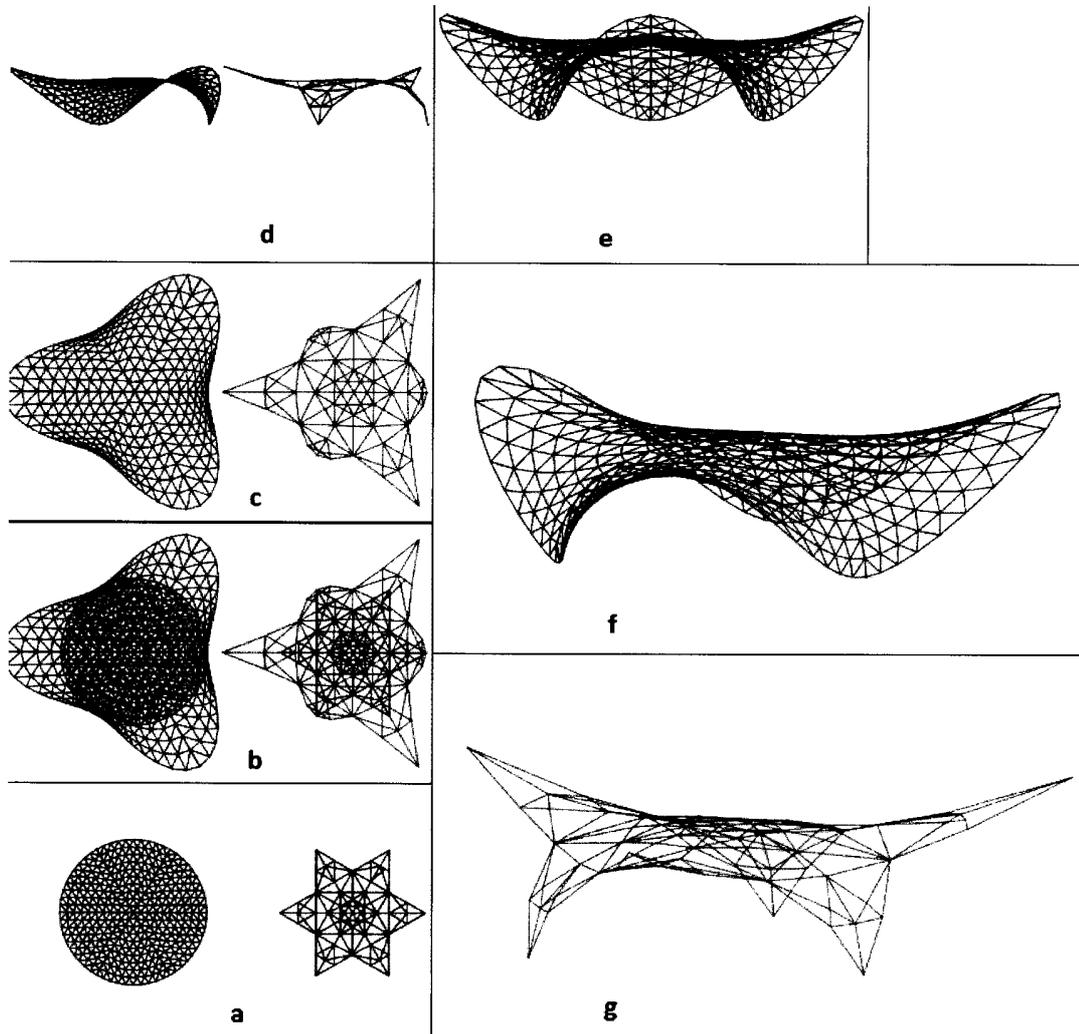


FIGURA 5

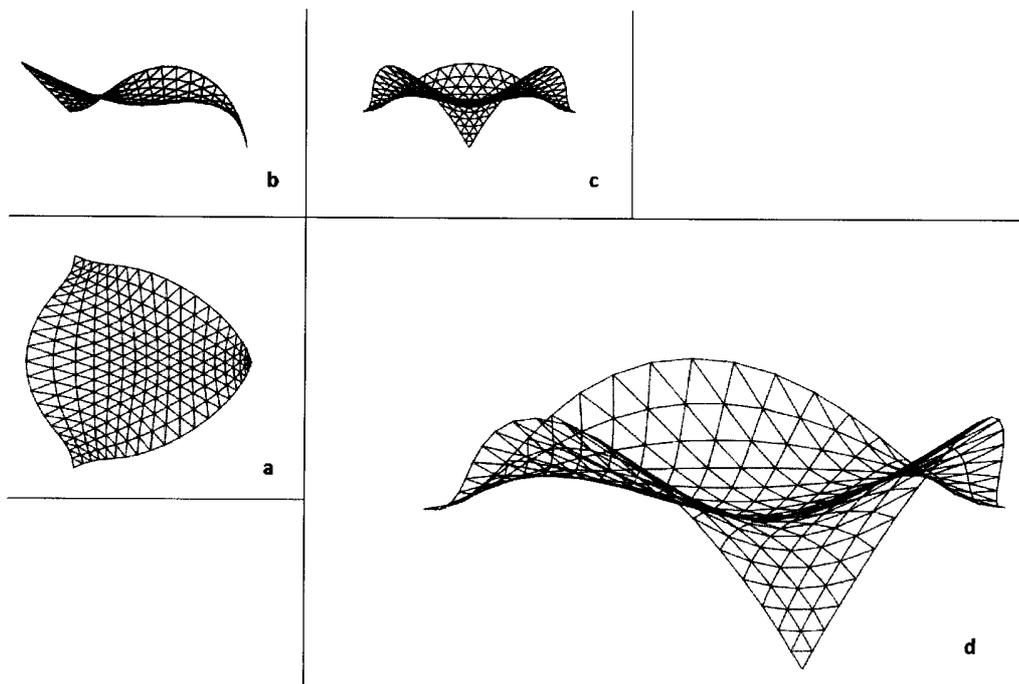


FIGURA 6

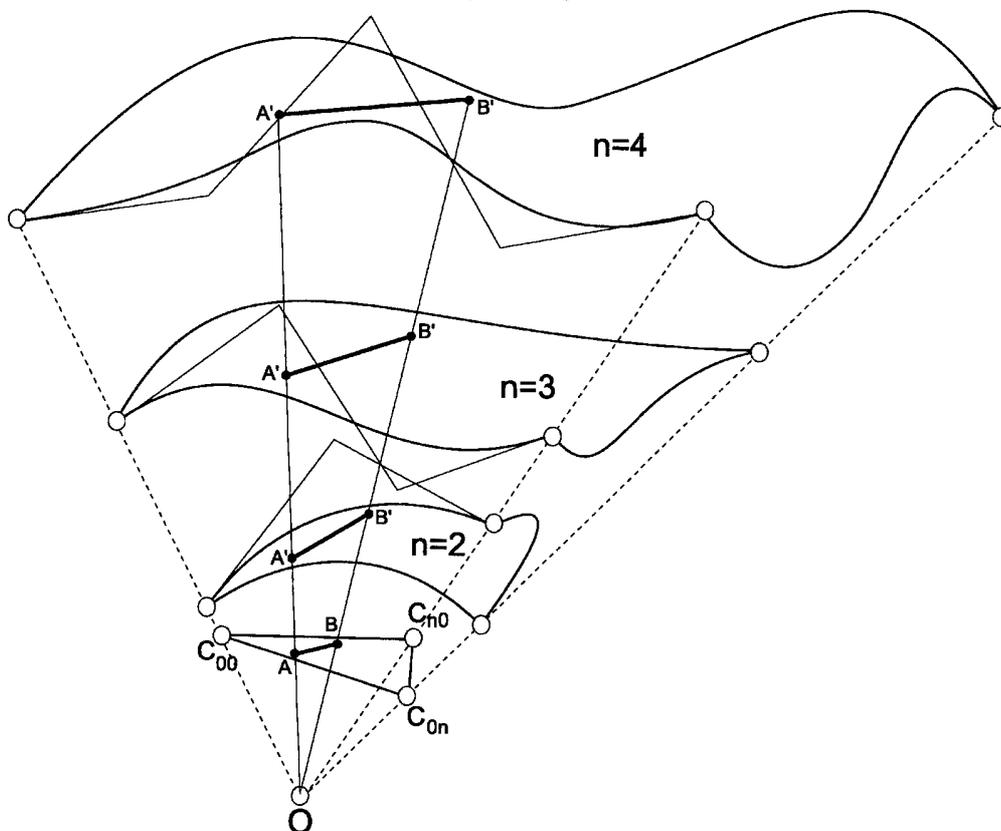


FIGURA 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2012/000083

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E04B1/19 (2006.01)

G06T17/00 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E04B, G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2009164175 A1 (REDONDO GARCIA DANIEL ET AL.) 25/06/2009, pages 1 - 3; claims 1-10;	9 1-8,10
A	EP 2169615 A2 (INTEL CORP) 31/03/2010, page 2, line 36 - page 4, line 39; figures 1 - 2.	1-10
A	US 2682235 A (BUCKMINSTER FULLER RICHARD) 29/06/1954, column 1, line 4 - column 11, line 53; figures 1 - 18.	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search
16/07/2012

Date of mailing of the international search report
(20/07/2012)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer
M. Revuelta Pollán

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3496824

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2012/000083

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US2009164175 A	25.06.2009	WO2009080734 A	02.07.2009
-----	-----	-----	-----
EP2169615 A	31.03.2010	EP20090252305 US2010079469 A CN101714248 A BRPI0905648 A	29.09.2009 01.04.2010 26.05.2010 29.03.2011
-----	-----	-----	-----
US2682235 A	29.06.1954	GB769616 A US2976968 A DE1168044 B	13.03.1957 28.03.1961 16.04.1964
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2012/000083

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

E04B1/19 (2006.01)

G06T17/00 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

E04B, G06T

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X A	US 2009164175 A1 (REDONDO GARCIA DANIEL ET AL.) 25/06/2009, páginas 1 - 3; reivindicaciones 1-10;	9 1-8,10
A	EP 2169615 A2 (INTEL CORP) 31/03/2010, página 2, línea 36 - página 4, línea 39; figuras 1- 2.	1-10
A	US 2682235 A (BUCKMINSTER FULLER RICHARD) 29/06/1954, column 1, línea 4 - column 11, línea 53; figuras 1 - 18.	1-10

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
16/07/2012

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
20 de julio de 2012 (20/07/2012)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)

Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado

M. Revuelta Pollán

Nº de teléfono 91 3496824

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2012/000083

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US2009164175 A	25.06.2009	WO2009080734 A	02.07.2009
-----	-----	-----	-----
EP2169615 A	31.03.2010	EP20090252305	29.09.2009
		US2010079469 A	01.04.2010
		CN101714248 A	26.05.2010
		BRPI0905648 A	29.03.2011
-----	-----	-----	-----
US2682235 A	29.06.1954	GB769616 A	13.03.1957
		US2976968 A	28.03.1961
		DE1168044 B	16.04.1964
-----	-----	-----	-----