

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 363 546**

② Número de solicitud: 201100375

⑤ Int. Cl.:  
**E04B 1/19** (2006.01)  
**G06T 17/00** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **28.03.2011**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **08.08.2011**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**08.08.2011**

⑦ Solicitante/s: **Universidad de Cantabria  
Pabellón de Gobierno  
Avda. de los Castros, s/n  
39005 Santander, Cantabria, ES**

⑦ Inventor/es: **Arias Fernández, Rubén;  
Manchado del Val, Cristina y  
Otero González, César Antonio**

⑦ Agente: **No consta**

⑤ Título: **Método de diseño geométrico de mallas espaciales mediante superficies NURBS.**

⑤ Resumen:

Método de diseño geométrico de mallas espaciales mediante superficies NURBS.

Un método para obtener un diseño de la geometría de una malla espacial formada por una pluralidad  $L$  de entidades lineales  $l'$ , caracterizado porque 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  $\lambda_{ij}$ , 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.

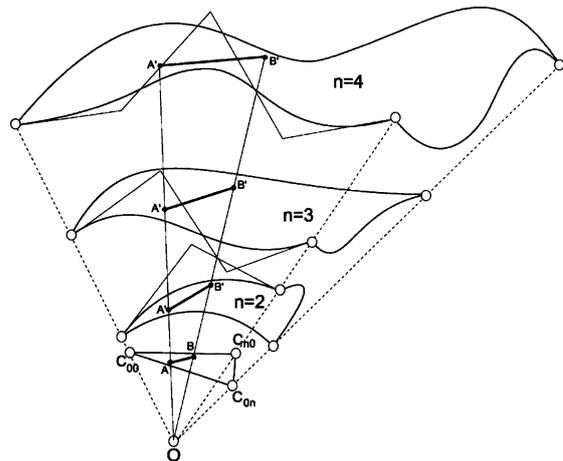


FIGURA 7

ES 2 363 546 A1

# ES 2 363 546 A1

## DESCRIPCIÓN

Método de diseño geométrico de mallas espaciales mediante superficies NURBS.

### 5 **Campo de la invención**

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

### 10 **Antecedentes de la invención**

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.

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.

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 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 Subdivisión 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 geoméricamente 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.

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.

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.

## ES 2 363 546 A1

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.

### 5 Resumen de la invención

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. 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.

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:

- 15 - elegir tres puntos en un plano que define un triángulo;
- elegir un punto ajeno a ese plano;
- 20 - 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;
- 25 - 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;
- 30 - 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:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\lambda_{ij}} \text{ si el punto O es finito}$$
$$P_{ij} = C_{ij} + \lambda_{ij}\vec{O} \text{ si el punto O en el infinito, con } \lambda_{ij} \in \mathfrak{R}$$

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

## ES 2 363 546 A1

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

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

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

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

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

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.

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.

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

### Breve descripción de las figuras

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:

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.

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.

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.

## ES 2 363 546 A1

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

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.

5

### Descripción detallada de la invención

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.

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.

15

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.

20

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 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:

25

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 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  $n=2$ .

35

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.

40

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.

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:

45

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

50

donde  $n$  es el orden de complejidad elegido previamente y los índices  $i$   $j$  son números enteros positivos:

55

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

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  $A$   $B$   $C$ .

60

A continuación, se eligen unos pesos  $\lambda_{ij}$  (valores reales) para cada punto de control  $C_{ij}$ . En el caso de que el punto ajeno al plano ( $O$ ) sea finito, los pesos  $\lambda_{ij}$  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  $\lambda_{ij}$  valen todos 1.

65

## ES 2 363 546 A1

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 ser 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.

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  $A$   $B$ .

Este entramado en el plano definido por los puntos  $C_{00}$   $C_{0n}$   $C_{n0}$  puede describirse también como una triangulación 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 triangulación 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, 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).

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:

## ES 2 363 546 A1

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);
- 5 - 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);
- 10 - 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;

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

- 15 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  $n$ .

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. Tantos 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  $n \geq 3$ .

25 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:

45 **Coordenadas  $C_{00} C_{03} C_{30} O$**

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

50 **Pesos**

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

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

55 
$$\lambda_{20}=0.5, \lambda_{21}=0.5$$

$$\lambda_{30}=1$$

60

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.

65

## ES 2 363 546 A1

Para este caso se utilizaron los siguientes datos:

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

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

**Pesos**

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

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

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

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

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

20  $\lambda_{50}=3$

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

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

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 363 546 A1

## REIVINDICACIONES

5 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;

10 - 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 ( $C_{00}$   $C_{0n}$   $C_{n0}$ )

15 - elegir unos pesos  $\lambda_{ij}$ , 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;

20 - 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;

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

30 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:

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

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

45 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  $\lambda_{ij}$  se eligen libremente, mientras que si dicho punto (O) es infinito, los pesos  $\lambda_{ij}$  valen todos 1.

50 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:

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

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

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

## ES 2 363 546 A1

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:

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

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

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

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

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

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:
  - 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.

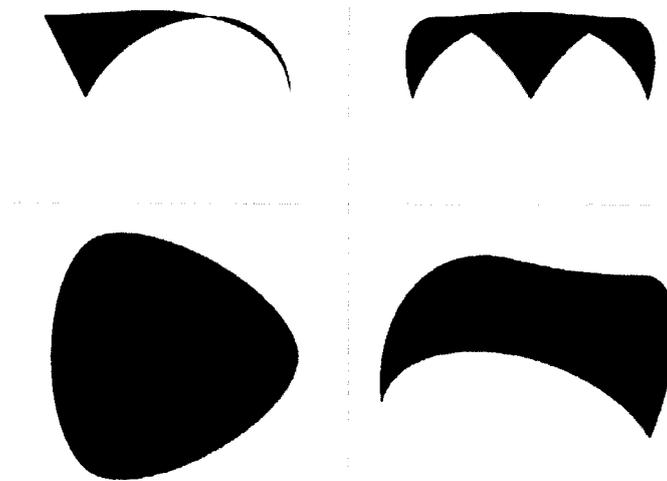


FIGURA 1

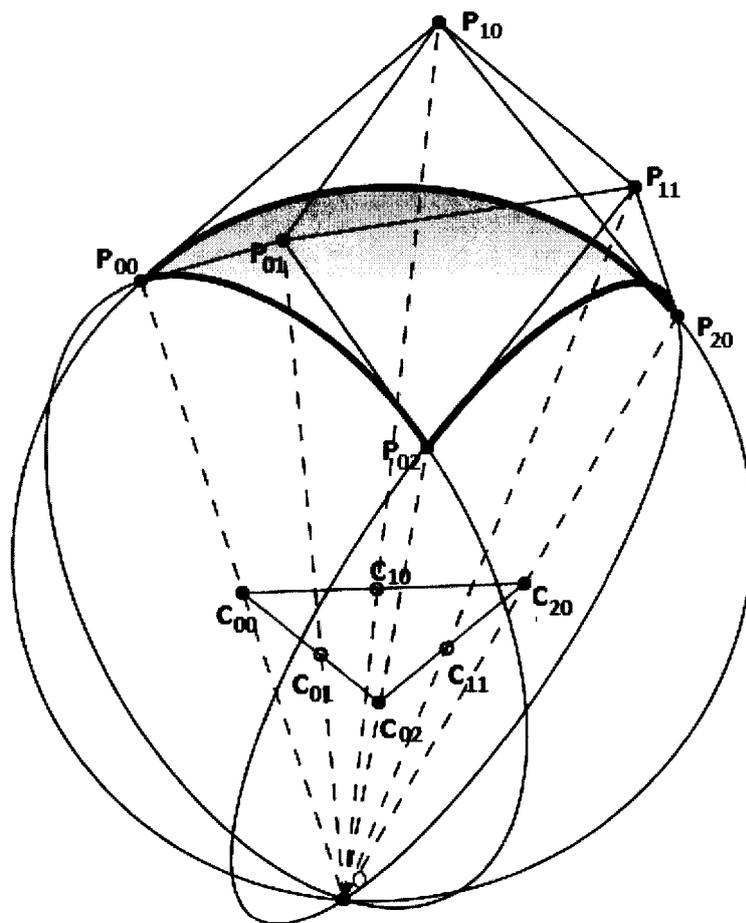


FIGURA 2

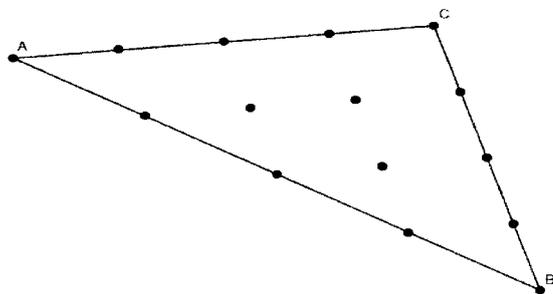


FIGURA 3

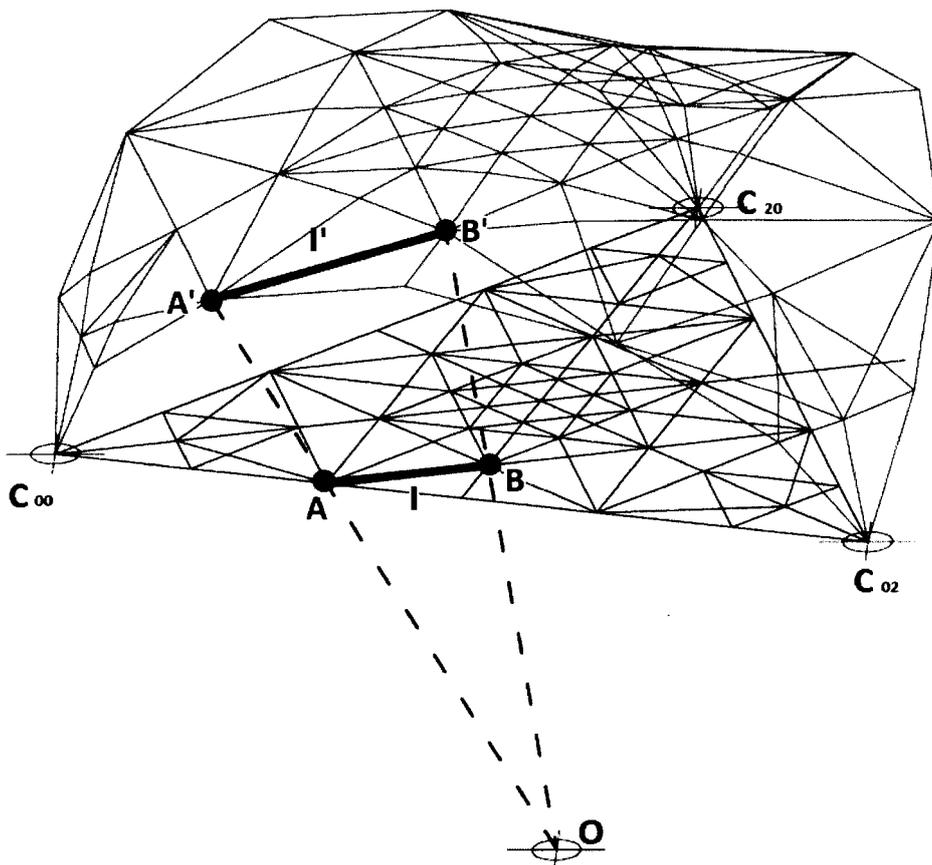


FIGURA 4

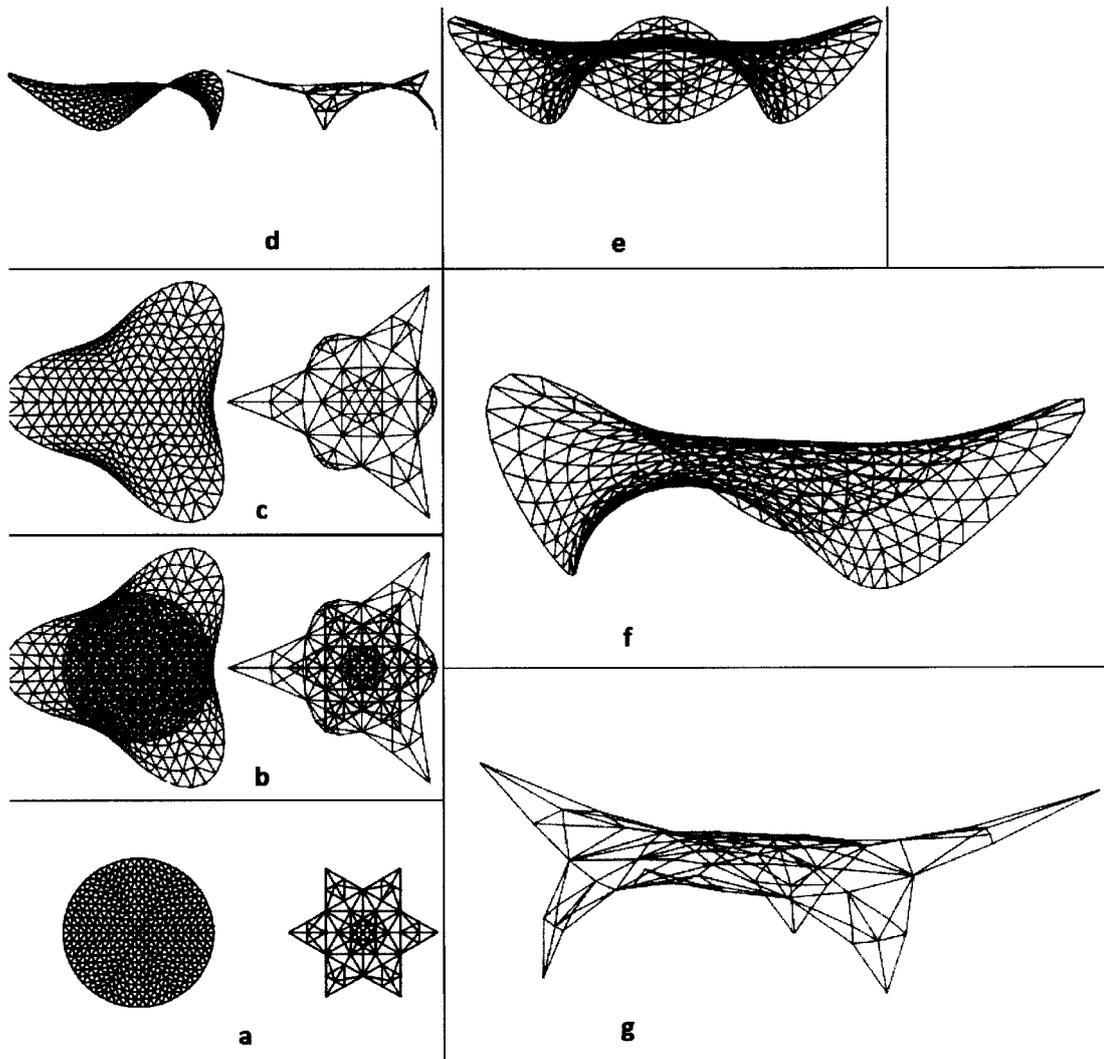


FIGURA 5

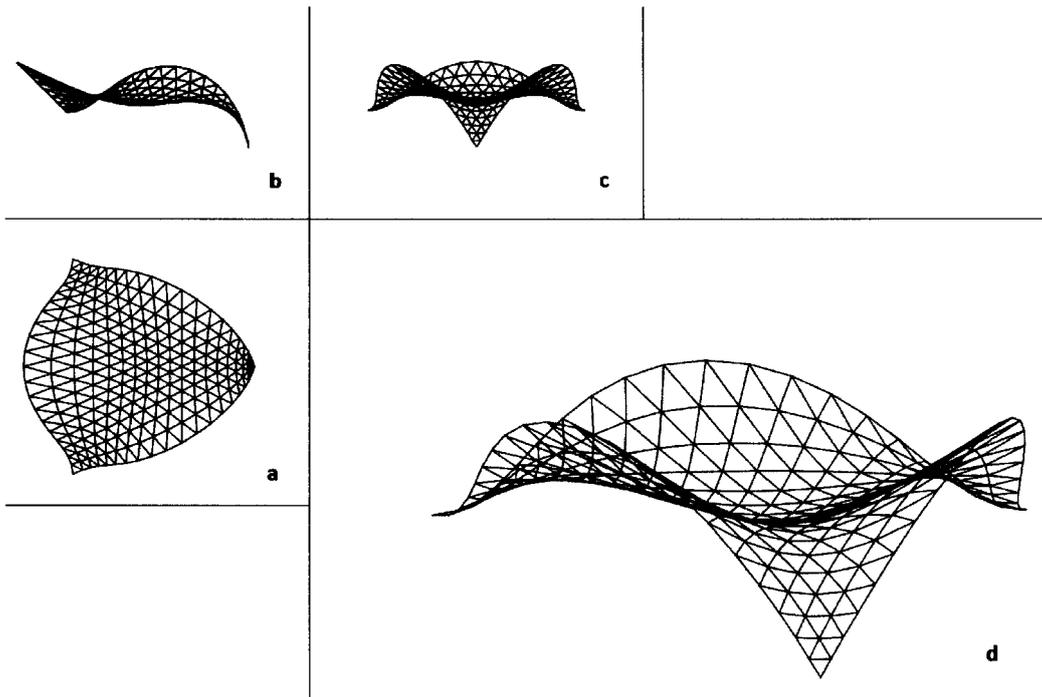


FIGURA 6

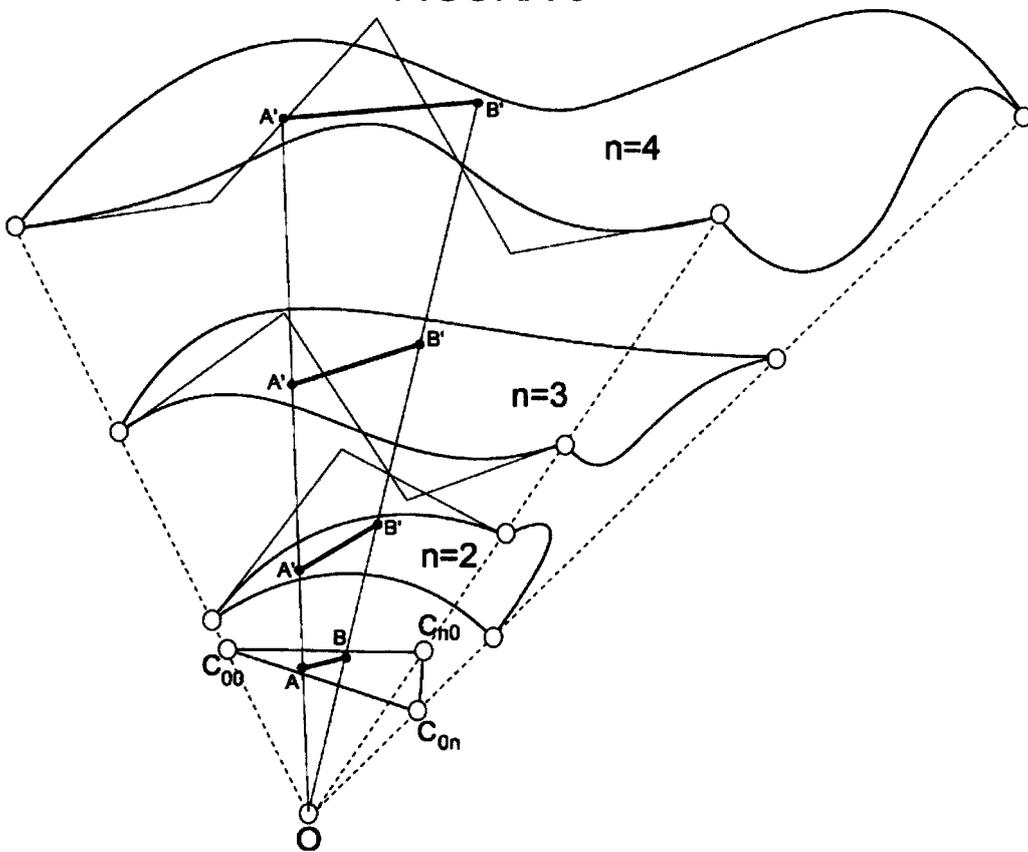


FIGURA 7



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201100375

②② Fecha de presentación de la solicitud: 28.03.2011

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **E04B1/19** (2006.01)  
**G06T17/00** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X A	US 2009164175 A1 (REDONDO GARCIA DANIEL ET AL.) 25/06/2009, Pág. 1-3, Reiv. 1-10	9 1-8,10
A	EP 2169615 A2 (INTEL CORP ) 31/03/2010, Pág 2 Lín. 36 - Pág. 4 Lín. 39, Fig. 1-2	1-10
A	US 2682235 A (BUCKMINSTER FULLER RICHARD ) 29/06/1954, Col. 1 Línea 4 - Col. 11 Lín.53, Fig. 1-18	1-10

#### 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  
21.07.2011

Examinador  
M. Revuelta Pollán

Página  
1/4

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

E04B, G06T

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

INVENES, EPODOC, WPI, PAJ

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 21.07.2011

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-10	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-8,10	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 9	<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	US 2009164175 A1 (REDONDO GARCIA DANIEL et al.)	25.06.2009
D02	EP 2169615 A2 (INTEL CORP )	31.03.2010
D03	US 2682235 A (BUCKMINSTER FULLER RICHARD )	29.06.1954

**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 define un método para obtener un diseño de la geometría de mallas espaciales mediante superficies Nurbs para aplicación al campo de la arquitectura e ingeniería civil. Así mismo reivindica el programa informático para la realización de dicho método, así como la estructura mallada obtenida con dicho método.

Reivindicación 9:

La reivindicación 9 reivindica la estructura mallada obtenida a partir del método de las reiv. 1-8. Dicha reiv. define el objeto en términos de resultado que se quiere conseguir y no a través de unas características técnicas concretas que den como resultado efectos o propiedades inesperadas en relación al resto de estructuras malladas existentes. En consecuencia, la invención como se reivindica en la reivindicación 9 no se considera que implique actividad inventiva.

Reivindicaciones 1-8, 9:

Ninguno de los documentos citados D01-D03 o cualquier combinación relevante de ellos revela un método para obtener un diseño de la geometría de mallas espaciales mediante superficies Nurbs para aplicación al campo de la arquitectura e ingeniería civil, por lo tanto, los documentos D01-D03 son solo documentos que reflejan el estado de la técnica. En consecuencia la invención definida en las reiv. 1-8 y 10 es nueva y se considera que implica actividad inventiva. (Art. 6.1 y 8.1 LP 11/1986)