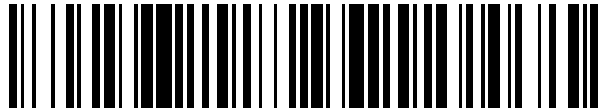


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 516**

51 Int. Cl.:

G06F 17/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2004 E 04790356 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2013 EP 1700243**

54 Título: **Procedimiento para determinar datos constructivos de un primer modelo para una estructura técnica de construcción ligera**

30 Prioridad:

30.11.2003 DE 10356682

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

20.12.2013

73 Titular/es:

**STIFTUNG ALFRED-WEGENER-INSTITUT FÜR
POLAR- UND MEERESFORSCHUNG (100.0%)
AM HANDELSHAFEN 12
27570 BREMERHAVEN, DE**

72 Inventor/es:

HAMM, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 435 516 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para determinar datos constructivos de un primer modelo para una estructura técnica de construcción ligera.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento asistido por ordenador para determinar datos constructivos de un primer modelo para una estructura técnica de construcción ligera.

10 El empleo de prototipos de la naturaleza para aplicaciones técnicas es conocido desde hace mucho tiempo y hace suponer el comportamiento humano. La naturaleza ha producido en el transcurso de la evolución, por selección natural, construcciones y procedimientos extremadamente economizadores de energía como respuesta a la cuestión de la mejor estrategia en la lucha permanente por la supervivencia de las especies, que parecen adecuados y deseables para muchas aplicaciones técnicas, si bien por otros motivos. Sin embargo, la transposición fracasa a este respecto generalmente en la problemática de hacer que el sistema biológico se pueda aplicar directamente al sistema técnico deseado. El fundamento de esta transposición tiene que ser, por un lado, el estudio exacto de la constitución morfológica de sistemas biológicos, incluyendo los materiales naturales empleados y sus propiedades, y, por otro lado, la adquisición de conocimientos exactos sobre su finalidad, es decir, sobre la correlación completa 15 de vista biológico-técnico le permite al constructor configurar sistemas técnicos teniendo en cuenta mecanismos biológicos activos. La ciencia de la transposición técnica sistemática de construcciones y procedimientos biológicos al mundo técnico se denomina en general biónica o biomimética.

20 Un gran número de publicaciones se ocupa de la interpretación de tales principios y de la presentación del respectivo estado de la técnica. La publicación I (Werner Nachtigall, "Vorbild Natur-Bionik-Design für funktionelles Gestalten", Springer Verlag, 1997) describe los principios básicos de construcciones naturales [I, páginas 21 y siguientes]: La naturaleza no construye componentes aditivos maximizados en propiedades principales individuales, sino que desarrolla sistemas integrados optimizados en cuanto a la suma de sus propiedades necesarias. En la naturaleza se contraponen al sistema de la energía adquirible por la ingesta de alimentos el gasto energético para, por un lado, la defensa/fuga y, por otro, la propagación. Cuanto más efectivamente pueda utilizarse la energía tanto mayor será la probabilidad de supervivencia. La consecuencia son construcciones ligeras y a la vez estables y adaptaciones detalladas a condiciones ambientales muy diferentes, y estas construcciones y adaptaciones representan un gran combinado de diseños utilizable en la técnica. Como ejemplo conocido de diseño biónico puede servir el efecto del loto [I, páginas 43-44]. En este caso, se ha podido demostrar que las superficies, por ejemplo de 30 hojas, con una distribución definida de microrrugosidades impiden muy eficazmente la adherencia de partículas de suciedad y gotas de agua, ya que las gotas de agua no se adhieren superficialmente, sino que, debido a su tensión superficial, ruedan sobre las puntas de las rugosidades y entonces enrollan sobre ellas y arrastran la suciedad que reposa también solamente sobre las puntas de las rugosidades. Esta capacidad les permite a las plantas limpiarse ellas mismas de una manera efectiva y mantener con ello en un alto nivel el rendimiento lumínico importante para la supervivencia. Sobre superficies técnicas se puede lograr también este efecto de autolimpieza por revestimiento con otros materiales que imiten la rugosidad de las hojas de las plantas. Se puede reducir así netamente no sólo el gasto de limpieza, por ejemplo de células solares para mantener el rendimiento lumínico, sino también de superficies ópticas tales como fachadas de casas y cristales de ventanas. Existe una serie de otros ejemplos tomados del mundo animal, por ejemplo el aprovechamiento de las propiedades reotécnicas y las propiedades antiensuciamiento de la piel de las ballenas, la generación de rozamiento de la piel de las serpientes en función de la dirección, etc. Sin embargo, para la transposición técnica de tales analogías no se describe con detalle en la publicación [I, páginas 127-130] la necesaria formación de modelos en el paso de realización final del modelo nulo de principio (figura 67).

45 En la publicación II (Claus Mattheck, "Design in der Natur - Der Baum als Lehrmeister", Rombach Ökologie, 1997) [II, páginas 13-18, 45-47] se trata el mecanismo de la autooptimización biológica, es decir, la optimización de la utilización de la energía, con ayuda del ejemplo del crecimiento adaptativo de árboles. Debido a las variaciones constantes de las condiciones de vida en el transcurso de su existencia el tronco de los árboles está sometido a diferentes condiciones de tensión originadas por el viento, el sol, la naturaleza del suelo, etc. La disposición genética del árbol le capacita para contrarrestar distribuciones desfavorables de la tensión mediante un crecimiento de espesor diferente entre sitios amenazados y sitios no amenazados. Persigue siempre el objetivo de dejar que, en promedio temporal, actúe una tensión constante sobre toda la superficie del tronco del árbol. Las mismas condiciones rigen también para otros componentes de la naturaleza sometidos a altas cargas mecánicas, como huesos, dientes, garras, etc. El principio básico, el axioma de la tensión constante, puede considerarse como el fundamento de la construcción biológico-técnica. También aquí se pone nuevamente de manifiesto que el diseño de la naturaleza optimizado en energía, es decir con aportaciones de fuerza necesarias para la finalidad de utilización prevista, se realiza por supresión de zonas exentas de tensión, peso minimizado de componentes y funciones de prototipo para estructuras ecológica y económicamente optimizadas. En la descripción del modo de proceder para transponer diseños ecológicos [II, páginas 63, 64], del que parte la invención como estado de la técnica más próximo, se presentan brevemente los métodos aplicables y su cooperación. El planteamiento del problema técnico proporciona primeramente los parámetros básicos relevantes para la estructura técnica de una construcción a 60 realizar. Se trata aquí, por ejemplo, de la dimensión aproximada del componente (dimensión límite), las cargas

exteriores atacantes y las condiciones marginales (empotramiento, apoyo, guías, etc.). La mecánica proporciona, por ejemplo con el método de elementos finitos (FEM) como herramienta numérica manual, las tensiones, dilataciones y deformaciones que se presentan en la estructura técnica. Con la llamada opción de muerte blanda (SKO) se pueden eliminar entonces como lastre innecesario las zonas de construcción no portantes. Por tanto, se puede proporcionar una propuesta de diseño de construcción ligera preoptimizada como primer modelo, pero éste presenta todavía zonas problemáticas. Éstas pueden tratarse posteriormente con la llamada optimización asistida por ordenador (CAO) mediante una contracción y variación adicionales de la construcción, de modo que, mediante un proceso de optimización iterativa, se obtiene finalmente la construcción a erigir con una estructura de construcción ligera resistente a la fatiga. En este caso, el alcance del proceso de optimización depende directamente de la optimización del primer modelo. Cuanto más cerca de la construcción final terminada se encuentre ya éste tanto menor será el gasto de optimización. Sin embargo, se pueden transponer tan sólo estructuras relativamente sencillas y ya la confección del primer modelo basado en datos según el prototipo tomado de la naturaleza requiere en el estado de la técnica engorrosos procesos de transferencia y cálculo. Hasta ahora, solamente ofrece remedios el empleo de primeros modelos muy sencillos, pero con esto el gasto de cálculo se traslada solamente a la optimización en la construcción definitiva, ya que la desviación con respecto al primer modelo es muy grande.

La publicación III (Hamm, Merkel, Springer, Jurkojs, Maier, Prechtel, Smetacek, "Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection", Nature, Vol. 421, páginas 841-843, Febrero de 2003) se ocupa de la constitución constructiva especial y múltiple de *Diatomeas* (algas silícicas) como dispositivo de protección. Particularmente en lo que respecta a estructuras de construcción ligera sometidas a esfuerzos mecánicos para construcciones en el campo de la fabricación de maquinaria o creaciones mecánico-estéticas de la arquitectura, los constructos de las valvas de organismos unicelulares biomineralizados y aquí especialmente las *Bacillarioficeas* (*Diatomeas*, fitoplancton) y los *Feodarios* (*Radiolarios*, zooplancton) juegan un papel decisivo como prototipos. Existe aquí una gran diversidad de estructuras cuya misión principal consiste en la protección contra carga mecánica y destrucción en el contexto funcional con sus competidores alimentarios y sus enemigos predadores, junto con una minimización simultánea de su peso, es decir, una optimización de la utilización de la energía. Se conocen alrededor de 60000 especies de algas silícicas en dos órdenes que, debido a su geometría de valva, se diferencian en céntricas (centrales) y pennadas (pennales, en forma de arco). Los armazones de soporte a manera de esqueletos de las algas silícicas están formados por ácido silícico, o sea, los oxiácidos del silicio $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Según la proporción de agua, se habla de ácido ortosilícico, ortodisilícico o metasilícico. Sin agua queda el anhídrido silícico SiO_2 . Las algas silícicas logran con un mínimo de material un máximo de estabilidad y, por tanto, tienen el mismo objetivo que las modernas construcciones ligeras. Como antecedente se pueden citar también la publicación IV de Internet ("Wunderschöne Kieselalgen: Muster für stabile Konstruktionen", Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meresforschung, http://www.awi-bremerhaven.de/AWI/Presse/PM/030219_diatomeen-d.html) con algunos datos técnicos sobre diatomeas y la publicación V de Internet ("Jugendstill im Meer", Forschungszentrum Jülich, <http://fz-juelich.de/portal/index.php?jahr=2003&index=281&cmd=show&mid=125>) con fotografías sobre el método de ensayo estándar con agujas de vidrio para determinar la resistencia mecánica de organismos unicelulares biomineralizados.

En la construcción clásica se confecciona primero un dibujo lo más aproximado posible a los requisitos técnicos de la estructura a confeccionar. Es necesario para ello un constructor versado en este dominio técnico. La estructura construida se fabrica y se prueba seguidamente como primer modelo con métodos de producción adecuados. Si satisface los requisitos impuestos, es decir que aguanta la carga para el número de ciclos de carga y/o vida útil deseados sin modificaciones que perjudiquen el funcionamiento, se la transpone y entra así eventualmente en la fabricación en serie. En caso contrario, se la refuerza en los sitios críticos. No tiene lugar aquí un debilitamiento de sitios sobredimensionados, ya que estos en general no son conocidos. Un proceso de construcción avanzado optimiza la estructura generando un modelo FEM y ensayándolo en el ordenador en las condiciones de estrés requeridas y eventualmente mejorándolo. Sin embargo, se efectúa aquí también regularmente tan sólo una reducción de la tensión mediante reforzamiento. El método no sirve para la optimización en el sentido general, es decir, ecológico-energético, sino que persigue el objetivo de evitar pasos de ensayo y error y, por tanto, representa solamente una optimización en lo que respecta al tiempo de desarrollo. Además, en la teoría de construcción clásica apenas se optimizan alguna vez sistemas enteros a base de varios componentes. Sin embargo, se pone claramente de manifiesto por las publicaciones I, II y III que tiene que estar dentro del interés general el desarrollar estructuras optimizadas, especialmente estructuras de construcción ligera. Con los métodos convencionales es posible alcanzar este objetivo solamente con altos consumos de tiempo y capacidad de cálculo. Por tanto, se puede reconocer que la confección del primer modelo representa un paso enteramente decisivo para el desarrollo ecológico de estructuras aptas para ser sometidas a altas cargas mecánicas. Cuanto más se aproxime este primer modelo a las condiciones requeridas tanto más sencillas serán la adaptación a una construcción racionalmente producible y energéticamente óptima y la optimización de la misma. Esto le es posible a un constructor a lo sumo en un respectivo dominio especial muy estrechamente limitado y solamente para componentes individuales o para sistemas muy sencillos. Por tanto, no se pueden confeccionar así primeros modelos de alta precisión con estructuras complicadas en los más diferentes dominios.

En la publicación VI de R. Meske et al.: "Topologie- und Gestaltoptimierung mit CAOSS und ABAQUS" (XP-002328332, ABAQUS-Anwendertreffen 2000, Winterthur, que puede consultarse en Internet bajo www.fe-

design.de/fileadmin/publikationen/publikationen2000/2000-09-29_ABAQUS_Anwendertreffen_Paper.pdf, versión 17 de mayo de 2005), se presentan herramientas de diseño especiales con las cuales el ingeniero de desarrollo puede obtener ya en la fase de concepción una propuesta de diseño casi óptima. En la figura 5 se reproduce a modo de modelo la integración de la optimización de topología y de configuración en el proceso de construcción. El proceso consta de varios pasos parciales. Se cuentan entre ellos la modelación del espacio de construcción, la transferencia subsiguiente a un preprocesador FE, la preparación de la optimización de la topología en un preprocesador de optimización y la optimización subsiguiente de la topología. En contraste con procedimientos clásicos, en la optimización de la topología no se recurre a ninguna variante construida, sino que únicamente se define el espacio de construcción disponible. El procedimiento de optimización distribuye automáticamente el material de conformidad con la función de destino y las restricciones prefijadas. De esta manera, casi se obtienen "componentes a partir de la nada". El resultado de la optimización de topología y de configuración con CAOSS y ABAQUS es una propuesta de construcción que no se basa en la geometría; este "modelo LEGO" se transfiere en un paso ulterior a una estructura lisa. A continuación, se puede efectuar una optimización fina de la estructura con ayuda de la optimización de la configuración. Se eliminan entonces sitios débiles locales aún existentes, con lo que se prolonga considerablemente la vida útil de los componentes. El modelo finamente optimizado se transfiere seguidamente a un modelo CAD referido a la geometría, el cual puede devolverse finalmente al proceso de producción a través de interfaces conocidas.

En la publicación de patente alemana DE 100 53 299 A1 ("Procedimiento para la construcción de un componente y componente de instalación limpiadora") se presenta a modo de ejemplo el proceso de construcción de piezas mecánicas con métodos asistidos por ordenador. Los pasos del procedimiento comprenden una construcción de modelo del objeto (modelo del espacio de diseño), una descripción del modelo con elementos finitos y una utilización de un programa 3D para la confección de un modelo de datos. Asimismo, se indican pasos de procedimiento para la optimización de la topología y la configuración, es decir, para la optimización de la forma. La solicitud muestra a modo de ejemplo lo costosa que es la adquisición de datos para un primer modelo. La metódica para generar un modelo del objeto y luego un dibujo, es decir, hoy en día frecuentemente un modelo de datos, o viceversa, primero un dibujo y luego, eventualmente con asistencia de ordenador, un modelo del objeto, para aplicar seguidamente optimizaciones numéricas, utiliza un gran número de variantes sin ofrecer criterios para la adquisición mejorada de datos de un primer modelo.

Las publicaciones citadas no indican ningún procedimiento racional para confeccionar un primer modelo adecuado, con cuya ayuda se pueda minimizar el trabajo de optimización necesario en una estructura de construcción ligera especialmente ventajosa en el aspecto energético. No se describe el paso inmediato del estudio técnico-biológico de arquitectura y procedimientos naturales en el marco de investigaciones de analogías biómicamente originadas, es decir que se deja esto al equipo interdisciplinar de biólogos y técnicos dirigido a un objetivo específico. El procedimiento a elegir se ajusta en este caso al objeto de la investigación y a las posibilidades técnicas de los participantes. No se presenta una metódica generalizada que se adapte a muchos perfiles de requisitos diferentes. Por tanto, el cometido de la presente invención consiste en indicar un procedimiento asistido por ordenador para confeccionar datos de primer modelo para una estructura técnica de construcción ligera, que trabaje de manera especialmente racional, pero, a pesar de ello, fiable. El procedimiento asistido por ordenador a indicar deberá proporcionar temporal y económicamente, y de una manera tan efectiva como sea posible, datos de primer modelo con cuya ayuda se pueda confeccionar un primer modelo bien aproximado a los requisitos técnicos impuestos a la construcción ligera que se debe confeccionar.

El procedimiento asistido por ordenador según la invención representa la solución con los pasos de procedimiento siguientes asistidos por ordenador:

1. habilitación de los parámetros básicos relevantes de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar con respecto al problema técnico planteado,
2. preselección de uno o varios organismos unicelulares biomineralizados con arquitecturas de valvas naturales ajustadas a los parámetros básicos habilitados,
3. selección de una o varias estructuras de precisión de las zonas de las arquitecturas de valvas preseleccionadas que resultan más prometedoras para una materialización técnica,
4. recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión seleccionadas,
5. escalado de los datos constructivos recogidos hasta alcanzar los parámetros básicos de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar,
6. combinación y adaptación de los datos constructivos escalados para obtener un juego de datos de primer modelo para un primer modelo de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar y
7. optimización del primer modelo.

Para resolver el problema planteado se ofrece la riqueza de formas, funciones y procedimientos de la naturaleza con sus experiencias adquiridas de manera evolutiva. La arquitectura de las valvas de los organismos unicelulares biomineralizados dispone aquí de un fondo especialmente grande de variantes técnicamente relevantes. Según Werner Nachtigall, uno de los fundadores de la biónica científica, es cierto que la naturaleza no proporciona patrones directamente utilizables para su uso técnico. Por el contrario, el estudio biológico-técnico de las estructuras naturales

tiene que proporcionar una comprensión de las vías de solución de los organismos considerados y ésta debe aplicarse después al problema técnico. El procedimiento asistido por ordenador según la invención no cuestiona tampoco este principio, sino que entresaca del gran número de organismos posibles únicamente un grupo grande, pero estrechamente limitado respecto de sus propiedades fundamentales, crea así un campo también estrechamente limitado de la metódica de investigación e incorpora igualmente sus modos de proceder generalizados. Se habilita así un combinado de patrones que ciertamente no es accesible de manera directa, pero que puede aplicarse racionalmente con ayuda del procedimiento asistido por ordenador utilizado a manera de receta. En conocimiento de los requisitos impuestos a la estructura de construcción ligera a crear se definen primeramente las propiedades deseadas. Con éstas se efectúa una preselección de organismos unicelulares biomineralizados adecuados. A partir de la selección se efectúa con otras propiedades deseadas una selección adicional de subestructuras y elementos de estructura individuales. Se obtienen directamente sus datos constructivos, se combinan los diversos elementos y se realiza una adaptación de las zonas límite. La estructura integrada así producida se escala a las medidas requeridas según las reglas generales de la mecánica y se habilitan así de manera sencilla los datos para un primer modelo. Se suprime así un cálculo costoso del los datos del primer modelo y se reduce significativamente el gasto de cálculo temporal y capacitivo. Un procedimiento de optimización aplicado a continuación proporciona la configuración hasta la estructura técnica de construcción ligera deseada. Es especialmente ventajosa la adquisición al menos semiautomática de datos constructivos con ayuda de métodos de investigación estandarizados. Es especialmente ventajosa también la utilización de procedimientos numéricos para almacenar y seleccionar juegos de datos de los organismos unicelulares biomineralizados, sus estructuras de valvas y sus datos constructivos, por un lado, así como de los datos referentes a los métodos de escalado, combinación y adaptación, los primeros modelos y sus resultados de optimización, por otro lado. Más detalles sobre el procedimiento asistido por ordenador según la invención y sus perfeccionamientos ventajosos pueden encontrarse en la parte especial de la descripción.

A continuación, se explica la invención con más detalle en toda su extensión con ayuda de las figuras esquemáticas a fin de facilitar una mayor comprensión de la misma. Muestran en estas figuras:

La figura 1, un diagrama de bloques del procedimiento asistido por ordenador,

La figura 2, estructuras de valvas de *Diatomeas*,

La figura 3, estructuras de valvas de *Diatomeas Asterolampra* (a la izquierda), *Asteromphalus* (dos en el centro) y *Arachnoidiscus* (a la derecha),

La figura 4, una fotografía SEM (a la izquierda), un modelo CAD (en el centro) y un modelo FE (a la derecha) de *Arachnoidiscus*,

La figura 5, un primer modelo generado con el procedimiento asistido por ordenador para una llanta de rueda de construcción ligera, en alzado frontal, con una parte recortada,

La figura 6, el primer modelo según la figura 5 en vista posterior en perspectiva, con una parte recortada,

La figura 7, el primer modelo según la figura 5 en vista lateral en perspectiva, con una parte recortada,

La figura 8, estructuras de valvas de *Feodarios* (inadecuadas),

La figura 9, estructuras de valvas de *Feodarios* (adecuadas),

La figura 10, detalles de la constitución interior de las valvas de los *Feodarios*,

La figura 11, un primer modelo generado con el procedimiento asistido por ordenador para un material de construcción ligera como modelo superficial (a la izquierda) y como modelo lineal (a la derecha),

La figura 12, detalles de la constitución interior de la valvas del *Coscinodiscus wailesii* y

La figura 13, un primer modelo generado con el procedimiento asistido por ordenador para una cáscara permeable de construcción ligera como modelo de capas fractales (a la izquierda) y en vista fragmentaria (a la derecha).

En el paso de procedimiento 1 representado en el diagrama de bloques según la figura 1 se describe con precisión la estructura técnica de construcción ligera deseada con respecto a sus propiedades en relación con el problema técnico planteado. Como fundamento de ello pueden estar depositadas en un banco de datos propiedades descriptivas comunes de estructuras técnicas de construcción ligera y arquitecturas de valvas de organismos unicelulares biomineralizados como una colección organizada de aspectos y valores de aspecto. Para describir las propiedades se emplea entonces un catálogo de aspectos indexado según criterios técnicos de información, cuyos elementos pueden adoptar valores bien definidos. Cuanto más extenso esté diseñado el catálogo de aspectos y cuanto mejor se logre cubrir con él todo el campo del problema considerado, tanto más precisamente podrá describirse el respectivo problema técnico especial. En el curso de un frecuente empleo puede crecer un catálogo

de aspectos bien cuidado y éste puede satisfacer requisitos cada vez más precisos. En el presente caso de determinación de datos de un primer modelo de estructuras técnicas de construcción ligera juegan un papel importante, entre otros, los aspectos de limitación del espacio en el que deberá moverse la construcción, la carga estática y dinámica de la estructura y los parámetros de consigna referentes a las relaciones de peso de componentes o criterios estéticos.

Para la solución de problemas semejantes se puede esperar que se puedan utilizar subestructuras ya empleadas. Los datos inicialmente encontrados para la confección de un primer modelo pueden emplearse nuevamente de manera económica cuando se ofrezca una jerarquía de subestructuras combinables y construidas una sobre otra. De esta manera, según los requisitos, se pueden combinar a voluntad subestructuras pequeñas o más grandes situadas más arriba en la jerarquía y se puede acelerar la confección del primer modelo. En el paso 2 del procedimiento se puede tomar una subcantidad adecuada con ayuda de un juego de aspectos - lleno de valores adecuados en base a una definición exacta del problema técnico - de una cantidad de estructuras de precisión de arquitecturas de valvas naturales clasificables según estos criterios. Un archivo de una jerarquía de elementos de estructura individuales, subestructuras mayores y arquitecturas de valvas enteras de organismos unicelulares biomineralizados, caracterizada por sus propiedades conocidas, puede servir ventajosamente para ello como colección organizada en un banco de datos. En este paso 2 del procedimiento se realiza primeramente una preselección con una cantidad básica de aspectos. Si no está disponible para una propiedad deseada ningún valor de aspecto adecuado o incluso ningún aspecto adecuado, se tiene que aprovechar para un paso de reflexión adicional una subcantidad de arquitecturas de valvas naturales escogida según los demás criterios. Se fija en ella el modo en que puede definirse un método para hacer posible la ampliación del intervalo de valores de un aspecto existente o la determinación de los valores de un aspecto nuevo que describa el problema parcial planteado.

El paso 3 del procedimiento afina la búsqueda de estructuras de precisión adecuadas debido a que a partir de la cantidad de arquitecturas de valvas en principio adecuadas determina, mediante una subcantidad delimitada de aspectos u otra restricción de los intervalos de valores de aspectos determinados, unas arquitecturas de valvas, subestructuras o elementos de estructuras de ellas que parecen especialmente adecuados. Las soluciones del dominio de la arquitectura de valvas aquí considerada de organismos unicelulares biomineralizados para cuestiones básicas surgidas de la mecánica técnica, por ejemplo de las condiciones de tensión en zonas problemáticas de las estructuras técnicas de construcción ligera deseadas, pueden archivar en un banco de datos mediante la descripción de los aspectos como catálogo de soluciones parciales que se pueden reutilizar constantemente. Algunos elementos de estructura individuales, subestructuras mayores y combinaciones de estos pueden convertirse en aspectos de una manera jerárquica y archivar también en un banco de datos para su reutilización. Con ayuda de la metódica representada en los pasos 1 a 3 del procedimiento se logra llegar rápidamente a soluciones parciales idóneas sobre la base de una aspectización lo más exacta y amplia posible del problema a partir de los inventarios de datos. Están disponible entonces también los datos constructivos correspondientes de las soluciones parciales seleccionadas.

Siempre que no se puedan determinar soluciones parciales suficientemente exactas a partir de los inventarios de datos, se tienen que aplicar en el paso 4 del procedimiento métodos de investigación estandarizados para determinar propiedades básicas mecánicas referidas a las estructuras de rango superior determinadas hasta este paso, eventualmente arquitecturas de valvas completas. A este fin, en el caso más original se tienen que encontrar y catalogar nuevos organismos unicelulares biomineralizados en el inventario de la naturaleza o se tienen que investigar organismos unicelulares ya catalogados en cuanto a su idoneidad y sus datos constructivos. La adquisición de los datos constructivos de las estructuras de precisión de las arquitecturas de las valvas es una operación que lleva mucho tiempo. Por tanto, el procedimiento asistido por ordenador según la invención se puede realizar ventajosamente con una recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión o las subestructuras seleccionadas mediante un escaneo microscópico al menos semiautomático. Las dimensiones de las estructuras de valvas están en el intervalo de algunos nanómetros para el plano de jerarquía más inferior de las subestructuras hasta más de un milímetro para valvas completas. Por tanto, para una representación gráfica de alta resolución entran en consideración diferentes procedimientos fotográficos por microscopio electrónico. Para obtener datos de estructuras tridimensionales son necesarias varias fotografías desde perspectivas diferentes o sistemas de fotografía espacial correspondientes. En conocimiento de las relaciones entre los ángulos de fotografiado un programa de cálculo puede convertir las imágenes pixeladas microscópicas digitalizadas en vectores y suministrar así datos escalables para su procesamiento ulterior en dirección a la formación deseada del primer modelo. Una posibilidad de generación de modelos de estructuras 3D consiste en la utilización de un microscopio confocal de láser que represente capas individuales de estructuras de valvas microscópicas. Mediante programas de cálculo se pueden recombinar a partir de ello unas representaciones espaciales de las estructuras originales y se pueden proporcionar datos escalables para la formación del primer modelo. A este respecto, es nuevamente útil que los datos constructivos directamente recogidos se archiven como una colección organizada en un banco de datos. La reutilización de los datos costosamente adquiridos es evidente, ya que, para la solución de problemas siempre nuevamente semejantes, se pueden utilizar también subestructuras siempre nuevamente iguales o semejantes. Además, los ensayos de estrés, por ejemplo el ensayo de la aguja de vidrio (véanse las publicaciones III, IV, V), dan información sobre la capacidad de carga mecánica de las estructuras de valvas.

En el paso 5 del procedimiento se escalan los datos obtenidos hasta alcanzar las relaciones de tamaño de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar. En el caso de relaciones de carga estáticas o cuasiestáticas es admisible este sencillo cálculo de elevación. En partes sometidas principalmente a fuertes solicitaciones dinámicas, cuyas relaciones no pueden ser aproximadas mediante supuestos cuasiestáticos o analogías directas a fragmentos de arquitecturas de valvas, se tienen que aplicar eventualmente otros métodos de escalado. En el paso 6 del procedimiento se agrupan todas las subestructuras formando la estructura técnica de construcción ligera deseada y se alisan los sitios de empalme. El resultado son los datos de un primer modelo que se apoya muy estrechamente en un espectro idóneo de patrones de la naturaleza y, por tanto, se aproxima ya mucho a la construcción ligera pretendida. También aquí es ventajoso archivar en un banco de datos como colección organizada criterios para el escalado, la combinación y la adaptación de los datos constructivos, de primeros modelos y de sus resultados de optimización.

En el paso 7 del procedimiento se optimiza finalmente el primer modelo para obtener un sistema mecánico madurado. A este fin, se pueden utilizar diferentes procedimientos de optimización, por ejemplo los procedimientos SKO y CAO ya presentados en la publicación II.

Ejemplo de realización 1 - Determinación asistida por ordenador de datos constructivos de un primer modelo para una llanta de rueda de construcción ligera

1. Habilitación de los parámetros básicos de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar en forma de una llanta de rueda de construcción ligera

La estructura de construcción ligera requerida es una rueda constituida por un cuerpo de llanta interior y una garganta de llanta exterior unida con éste, estando unido el cuerpo de llanta con el eje del vehículo a través de unos medios de fijación y estando unida la garganta de llanta con el neumático. En general, la suma de estos elementos se denomina "llanta". Asimismo, esta llanta deberá consistir en un plástico reforzado con fibras y dotado de propiedades anisótropas del material.

En el presente caso de una llanta de construcción ligera se desea una reducción del peso, ya que las llantas, como masas no suspendidas elásticamente, tienen que ser lo más ligeras que sea posible para mantener un mejor contacto con el suelo y adherirse efectivamente también sobre una calzada no plana. Por tanto, un reto especial es el material, cuyas propiedades tienen influencia sobre la selección de geometrías adecuadas. Dado que la garganta de la llanta y los elementos de fijación están normalizados, se pueden lograr mejoras sobre todo en la zona del cuerpo de la llanta. Como requisito adicional hay que citar una buena permeabilidad al aire en esta zona para posibilitar una refrigeración efectiva de frenos de disco.

2. Preselección de organismos unicelulares biomineralizados con arquitecturas de valvas naturales idóneas

Entre los organismos con valvas biológicas de construcción ligera (especialmente organismos unicelulares planctónicos biomineralizados) se selecciona el grupo de las *Diatomeas*, ya que en este grupo están representadas especies con geometrías de valva (véase la figura 2) que satisfacen las premisas fundamentales para una mejora biónica de una rueda de construcción ligera, es decir que ya son relativamente planas y a manera de rueda. Sin embargo, como criterio de solución para el presente problema planteado no entran en consideración muchísimos géneros correspondientes, tales como *Thalassiosira*, *Porosira* o *Coscinodiscus*, ya que estos no presentan elementos de estructura extraíbles. Por el contrario, como geometrías especialmente adecuadas se seleccionan las algas silíceas centrales, tales como *Asterolampra* (véase la figura 3, a la izquierda), *Asteromphalus* (véase la figura 3, dos en el centro) y *Arachnoidiscus* (véase la figura 3, a la derecha), los cuales contienen cada uno de ellos elementos de estructura rigidizadora radialmente simétricos. Las algas silíceas están expuestas en la naturaleza a diferentes cargas que se asemejan en su diversidad a los casos de carga que se presentan también en las llantas de ruedas. Además, existe una presión de selección hacia una construcción más ligera a causa de la oferta limitada de material de construcción (silicato) y de la necesidad de producir las estructuras de una manera efectiva (con rapidez y con poco consumo de energía). La coacción para construir ligeras las valvas viene dada, además, por el modo de vida planctónico (flotante) de muchas algas silíceas. Mediante procesos de adaptación evolutiva en aproximadamente 200 millones de años las algas silíceas han configurado sus valvas como estructuras defensivas ultraligeras, lo que ha conducido a estructuras de construcción ligera altamente desarrolladas y en parte muy complejas. Como han demostrado los cálculos FE, las valvas de las algas silíceas consisten en un material anisótropo y alcanzan así una resistencia máxima para una mínima utilización de material.

Las algas silíceas están en general, como organismos unicelulares, por debajo de un milímetro de tamaño. En este caso, para la transferencia al dominio técnico es ventajoso que la forma de sus valvas sea escalable, es decir que pueda agrandarse a la escala justa y, no obstante, conserve su resistencia específica, ya que la sección transversal del material y la carga superficial se escalan ambas con el cuadrado de la escala de longitud. Sus formas parecen ser ciertamente extraordinarias, pero no extrañas o ridículas, sino que, por el contrario, son muy armónicas y estéticas. A causa de sus formas equilibradas, tampoco contradicen nuestros hábitos visuales a pesar de una novedosa estructuración en la construcción de llantas, lo que, en el caso de un producto en masa de alto valor como

es una llanta de construcción ligera, es una premisa esencial para su aceptación por los compradores.

A pesar de interesantes criterios de solución en las estructuras de las valvas de todos estos géneros/especies de *Diatomeas*, el *Arachnoidiscus* ofrece una mayor capacidad de transposición que la *Asterolampra*, ya que el proceso de producción posterior para una llanta de construcción ligera no admite los cruzamientos inferiores que predominan en la *Asterolampra*. El género *Asteromphalus* posee valvas radialmente onduladas que están formadas exclusivamente por una valva atravesada por poros muy finos. A causa de la permeabilidad requerida de la estructura, esta solución no puede tomarse en consideración. En lo que respecta a las propiedades anisótropas del material plástico reforzado con fibras, son ventajosos también los elementos de estructura de *Arachnoidiscus*, ya que las evoluciones de tensión que cabe esperar en tales estructuras están sustancialmente adaptadas a los recorridos de las fibras predominantemente generados por el proceso de producción (alta relación de aspecto - anchura a profundidad - de los nervios producidos). El problema de acodamiento de los elementos muy delgados a manera de rayos que se presenta potencialmente en este caso se compensa mediante los elementos concéntricos aplicados a distancias pequeñas. La figura 4 muestra a la izquierda una fotografía SEM, en el centro un modelo CAD y a la derecha un modelo FE de *Arachnoidiscus*. En este estadio del procedimiento de determinación las zonas medias y marginales de las estructuras están orientadas todavía a la geometría de las microalgas y, además, la estructura está aún cerrada por rellenos a manera de poros.

Parte de la preselección de organismos unicelulares biomineralizados con arquitecturas de valvas naturales idóneas según el paso 2 del procedimiento es también la realización de ensayos micromecánicos para captar las propiedades mecánicas. Se han realizado ya a modo de ejemplo ensayos micromecánicos en diatomeas centrales (*Thalassiosira* y *Coscinodiscus*). Mediante estos ensayos, en los que se pone la valva de *Diatomeas* bajo una presión creciente de una aguja de vidrio hasta su destrucción, se han podido demostrar propiedades mecánicas generalmente favorables de valvas de *Diatomeas*. Una fuerza de rotura de, por ejemplo, 300 μ N en *Thalassiosira* con un tamaño entre 30 y 130 μ m corresponde, en una construcción ligera escalada hacia arriba hasta un metro cuadrado, a una capacidad de carga de varios centenares de toneladas.

3. Selección de estructuras de precisión de los dominios más prometedores de las arquitecturas de valvas preseleccionadas

A partir de la estructura total de *Arachnoidiscus* se seleccionan las estructuras internas en las valvas, pero no las areolas loculadas (estructuras de nido de abeja con poros extremadamente pequeños), ya que, para la refrigeración efectiva de los discos de freno, es necesario que tenga lugar un intercambio de aire efectivo entre el lado interior y el lado exterior del cuerpo de la llanta de rueda. La constitución interior a manera de armazón consiste, en *Arachnoidiscus*, en elementos de estructura radiales y concéntricos cuya relación de aspecto (anchura a profundidad de un nervio) es extraordinariamente alta.

4. Recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión seleccionadas

Los datos constructivos de la constitución de las valvas se obtienen directamente a partir de fotografías con microscopio electrónico óptico y microscopio electrónico tramado y se transfieren a modelos 3D con ayuda de programas CAD y FE.

5. Escalado de los datos recogidos hasta alcanzar los parámetros básicos de la llanta de construcción ligera

El escalado se efectúa sustancialmente sobre la base del patrón original (*Arachnoidiscus*), habiéndose realizado únicamente algunas simplificaciones pertinentes para la producción, como la supresión de cruzamientos inferiores y la representación de la estructura como completamente dotada de simetría radial.

6. Combinación y adaptación de los datos escalados para obtener un juego de datos de un primer modelo para una llanta de construcción ligera

Los elementos de estructura radiales y concéntricos se reúnen con las zonas normalizadas de la fijación de la rueda, así como de la pestaña de la llanta (talón en el lado delantero de la garganta de la llanta) y de la garganta de la llanta, y luego se alisan dichos elementos. El primer modelo resultante de esto se dimensiona de modo que admita cálculos para una comparación directa con una llanta actual de construcción ligera dotada de propiedades conocidas. Como aspecto secundario se evalúa también el diseño del primer modelo generado por el procedimiento asistido por ordenador aquí presentado, a cuyo fin se produce por vía estereolitográfica un prototipo 1:1 de la llanta de construcción ligera. Más abajo se representan vistas diferentes del primer modelo terminado para una llanta de construcción ligera con geometría de construcción ligera integrada a base de la topología de *Arachnoidiscus*.

7. Optimización del primer modelo para una llanta de construcción ligera

A continuación, se aplican los casos de carga especiales relevantes para llantas de construcción ligera con ayuda de programas de carga preestablecidos para poder realizar con ayuda de programas FE y un software de optimización una última adaptación del primer modelo a las características de rendimiento requeridas de una llanta de

construcción ligera.

Forma de realización concreta del primer modelo para una llanta de construcción ligera

Con el procedimiento asistido por ordenador anteriormente explicado se puede desarrollar de manera muy eficiente un primer modelo de una llanta de construcción ligera directamente a partir de la apariencia concreta de *Arachnoidiscus*. En este caso, una llanta de construcción ligera para un vehículo automóvil consiste en un cuerpo de llanta interior, que puede fijarse por un lado a un eje, y una garganta de llanta exterior unida con el cuerpo de llanta interior. En formas de realizaciones especiales el cuerpo de llanta presenta una constitución de rayos portantes.

El primer modelo para una llanta de construcción ligera concebido con el procedimiento asistido por ordenador presentado se caracteriza por una constitución altamente simétrica y especialmente afiligranada que hace posible una pequeña utilización de material y que, no obstante, garantiza, debido al alto grado de reticulación, una alta resistencia, especialmente frente a pandeo de los rayos. En la constitución de los rayos se diferencian rayos radiales y rayos anulares. Los rayos están configurados en este caso a manera de nervios, de modo que, observado desde el lado delantero del primer modelo, ocupan solamente un espacio reducido y más tarde hacen posible una ventilación óptima de los frenos de disco situados detrás de la llanta de construcción ligera fabricada según el primer modelo. Las llantas radiales tienen una alta relación de aspecto en la anchura de los nervios con respecto a su profundidad. Por tanto, la forma del nervio es estrecha, pero profunda o alta, con lo que resulta ya un aspecto de resistencia. El segundo aspecto de resistencia resulta de la superposición cruzada de los rayos radiales con los rayos anulares, de modo que todos los rayos se soportan mutuamente. En función del número de rayos, se obtiene una impresión total altamente simétrica del primer modelo a la manera de un papel cuadriculado con una imagen de mallas fijable por la geometría de seleccionada de los nervios. Ésta se estampa aquí especialmente también haciendo que no todos los rayos radiales discurren hasta el eje de la llanta, sino que algunos rayos radiales se extienden solamente sobre un respectivo tercio del cuerpo de la llanta desde la garganta de la misma. Estos terminan entonces juntos en uno de los rayos anulares exteriores. Esta medida, que se refiere a rayos radiales simétricamente dispuestos, por ejemplo cada tercer rayo radial, aporta más tarde en la producción de una llanta de construcción ligera una reducción adicional del peso de dicha llanta, sin que se merme entonces la resistencia de la llanta de construcción ligera. Se aligera la apariencia de la constitución de los rayos, pero sin que se origine por ello una inestabilidad.

La constitución de los rayos puede ser completamente simétrica cuando los rayos radiales y los rayos anulares están estampados de manera equivalente. Sin embargo, una forma de realización del primer modelo se puede caracterizar también por una menor relación de aspecto de los rayos anulares en comparación con la relación de aspecto de los rayos radiales, discurrendo los rayos anulares a haces o casi a haces con los rayos radiales en el lado delantero. Se obtiene así una estructuración de los rayos dominada por rendijas que presenta una resistencia radial especialmente alta, particularmente contra pandeo de los rayos radiales, pero que, a pesar de ello, está también suficientemente apoyada en sentido periférico. No se perturba en este caso la impresión óptica total cuando los rayos anulares más planos están dispuestos en el lado delantero del cuerpo de la llanta, de modo que estos discurren a haces o casi a haces con los rayos radiales y no están decalados hacia atrás. El primer modelo de una llanta de construcción ligera desarrollado directamente a partir de la apariencia concreta de *Arachnoidiscus* puede estar caracterizado por 16 rayos radiales y 6 rayos anulares, discurrendo cada segundo rayo radial solamente hasta el segundo rayo anular desde la garganta de la llanta. En este caso, se trata de una constitución constructiva que, debido a investigaciones teóricas y prácticas, ha resultado ser como una forma de realización especialmente ventajosa para una llanta de construcción ligera.

Otras modificaciones del primer modelo pueden caracterizarse por redondeamientos entre los rayos radiales en el lado de la garganta de la llanta y por una placa circular concéntrica en la zona de la fijación al eje del cuerpo de la llanta, en la que terminan los rayos radiales. Tales modificaciones sirven para aumentar aún más la resistencia y pueden determinarse, por ejemplo, mediante programas de simulación de carga. Además, mejoran la impresión óptica total y la manejabilidad de la llanta de construcción ligera fabricada según el primer modelo. Debido al redondeamiento de los espacios intermedios se garantiza más tarde una mejor limpieza y, debido a la placa circular concéntrica, se garantiza un mejor montaje.

La figura 5 muestra un primer modelo EM para una llanta de construcción ligera para un vehículo automóvil con un cuerpo de llanta interior FK y una garganta de llanta exterior FB unida con éste. Sobre la garganta de llanta FB se cala en funcionamiento, en el caso de una llanta de construcción ligera realizada, un neumático, y el cuerpo de llanta FK presenta un taladro central ZB con el que se cala por un lado sobre el eje del automóvil, y dicho cuerpo se fija con varios pernos de rueda a través de taladros BO previstos para ellos. El cuerpo de llanta FK presenta una disposición de rayos portantes SA. La disposición de rayos SA está estampada de manera altamente simétrica y está constituida por un gran número de rayos radiales RAS y rayos anulares RIS. Ambas formas de rayos están configuradas como nervios rectangulares y son relativamente estrechas, pero largas y profundas. Los rayos radiales RAS a manera de nervios tienen una relación de aspecto especialmente alta. Están configurados como muy estrechos y tienen una profundidad tal que pueda conseguirse una resistencia y estabilidad de la llanta de construcción ligera suficientes para el funcionamiento posterior. La profundidad de los rayos radiales RAS puede

estar, por ejemplo, en el rango de una sexta parte de la anchura de la garganta de llanta FB. Los rayos radiales RAS son cruzados por varios rayos anulares concéntricos RIS. Estos están cerrados en sentido periférico y dispuestos a una distancia radial constante de uno a otro. En el ejemplo de realización elegido, 16 rayos radiales RAS son cruzados por 6 rayos anulares. Se obtiene una rejilla de malla estrecha de alta estabilidad. Los rayos anulares presentan una relación de aspecto más pequeña que la de los rayos radiales RAS y sirven principalmente para la rigidización de estos. Para crear una imagen uniforme desde el lado delantero del primer modelo EM, los rayos anulares RIS están situados en el lado delantero de la garganta de llanta FB y quedan a haces con los rayos radiales RAS.

La carga principal es soportada por los rayos radiales RAS. Sin embargo, en este caso no es necesaria una continuidad de todos los rayos radiales RAS hasta el taladro central ZB. Es suficiente una rigidización máxima en la zona de la garganta de llanta FB, por lo que en el ejemplo de realización elegido cada segundo rayo radial RAS está construido solamente hasta el segundo rayo anular RIS desde la garganta de llanta FB. Se obtiene así adicionalmente una impresión muy simétrica de una corona de llanta. Ésta viene favorecida por unos redondeamientos AB entre los rayos radiales RAS en el lado de la garganta de llanta FB. Asimismo, en la zona de la fijación al eje del cuerpo de llanta FK está prevista una placa circular concéntrica KP en la que terminan los rayos radiales RAS y la cual cierra armónicamente el dibujo de rejilla. La placa circular concéntrica KP recibe los taladros BO para los pernos de rueda y garantiza una alta estabilidad de la zona cargada del eje de la llanta de construcción ligera LF.

Las figuras 6 y 7 muestran el ejemplo de realización del primer modelo EM según la figura 5 en una vista desde atrás y desde el costado, con una respectiva parte recortada. Los símbolos de referencia pueden tomarse correspondientemente de la figura 5. En la figura 6 se puede apreciar que los rayos radiales RAS y los rayos anulares RIS están dispuestos solamente en el lado delantero de la garganta de llanta FB. Se puede apreciar también la relación de aspecto más alta en los rayos radiales RAS que en los rayos anulares RIS. En la figura 8 se pueden apreciar claramente la estampación estable de la garganta de llanta FB y la estampación a manera de nervios de los rayos anulares RIS.

Ejemplo de realización 2 - Determinación asistida por ordenador de datos constructivos de un primer modelo para un material de construcción ligera

1. Habilitación de los parámetros básicos de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar en forma de un material de construcción ligera

El material de construcción ligera requerido es una valva completa o ampliamente cerrada que deberá presentar un alto grado de flexibilidad y una fuerte memoria de forma. Estas propiedades tienen que poder acoplarse, en caso necesario, con una cierta permeabilidad. Tales estructuras pueden utilizarse de múltiples maneras en la industria del automóvil, así como en la aeronáutica y la cosmonáutica. La geometría deberá poder materializarse mediante procedimientos de producción corrientes o fáciles de desarrollar. En el presente ejemplo deberán utilizarse especialmente nuevos procedimientos asistidos por ordenador para la construcción ligera, tal como la de la fabricación de espumas metálicas y esferas huecas.

2. Preselección de organismos unicelulares biomineralizados con arquitecturas de valvas naturales idóneas

Entre los organismos con valvas biológicas de construcción ligera (especialmente organismos unicelulares planctónicos biomineralizados) se selecciona el grupo de los *Radiolarios*, especialmente el subgrupo de los *Feodarios*, ya que en este grupo están representadas especies con geometrías de valvas que satisfacen las premisas fundamentales para una mejora biónica de esta estructura de construcción ligera. Los organismos unicelulares como las *Diatomeas* o los *Naselarios*, pertenecientes también a los *Radiolarios*, no entran en consideración como criterio de solución para el presente problema planteado, ya que estos tienen una arquitectura muy abierta. La figura 8 muestra representaciones de microscopio electrónico tramado y de microscopio electrónico de transmisión de diferentes valvas ampliamente cerradas de *Feodarios*, que no son adecuadas para la confección de un primer modelo para un material de construcción ligera.

Por el contrario, como geometrías especialmente adecuadas se identifican las de especies como *Challengeron*, ya que éstas poseen tanto valvas cerradas como valvas con poros muy pequeños. Los criterios establecidos desde el punto de vista de la técnica de producción - la utilización de procedimientos de producción ya desarrollados - pueden satisfacerse mediante una combinación de cuerpos huecos y espuma entre capas de cubierta macizas. La figura 9 muestra un surtido de construcciones de valvas que siguen el principio de "esferas huecas y espuma entre capas macizas". Es llamativo el hecho de que las esferas huecas están ancladas casi siempre con estructuras especiales en la valva exterior maciza. A pesar de criterios de solución interesantes en las estructuras de valvas de también otros grupos de organismos, éstas no son en general tan adecuadas para el presente problema planteado. Mientras que muchos exosqueletos biológicos están armados con prolongaciones a manera de pinchos y complementan así su función de protección puramente defensiva, esto no es deseable generalmente en componentes técnicos. Por el contrario, los *Feodarios* poseen una valva ampliamente lisa que, como se desea también, por ejemplo, en piezas de carrocería, ofrece una forma de protección pasiva y defensiva. La constitución de los *Feodarios* es de interés

también en lo que respecta a una posible permeabilidad, que conduce frecuentemente en estructuras convencionales a que se refuerce considerablemente la constitución para la misma resistencia mecánica a fin de evitar puntos débiles posiblemente resultantes. Geometrías diferentes materializadas en los *Feodarios* están diseñadas para evitar puntas de tensión en estas zonas.

- 5 Se han realizado ensayos micromecánicos ("ensayo de la aguja", véase más arriba) en *Feodarios* antárticos (*Challengeron*). Mediante estos ensayos se han podido ya demostrar propiedades mecánicas generalmente favorables de las valvas de organismos unicelulares, y especialmente los ensayos han proporcionado indicios de un alto grado de flexibilidad/pseudoelasticidad y memoria de forma. Dado que estas propiedades son provocadas con la mayor probabilidad no sólo por las propiedades del material (silicato), sino sobre todo también por la constitución específica en el dominio micrométrico, es posible transferir los principios de construcción a valvas técnicas de otros materiales.

3. Selección de estructuras de precisión de las zonas mas prometedoras de las arquitecturas de valvas preseleccionadas

- 15 En la estructura total de los *Feodarios* se analizan más exactamente las estructuras internas. Es llamativo aquí el hecho de que se logra, mediante direcciones preferentes de los elementos del material a manera de espuma situado entre las esferas huecas, una resistencia mayor que la que se presenta en espumas isotropas puras (véase la figura 9). La figura 10 muestra detalles de la constitución interior de las valvas de los *Feodarios*. En la figura 10 a la izquierda y en el centro se representan valvas desprendidas que muestran que entre los distintos elementos huecos no existe una unión rígida. La ausencia completa de una matriz de espuma alude a claras diferencias específicas del material entre los elementos de espuma y los elementos huecos. Además, en el lado exterior de los elementos huecos pueden verse refuerzos alrededor de los poros. En la figura 10 a la derecha se representa una sección TEM. La ausencia de las esferas huecas ocasiona una anisotropía topológica en la matriz de espuma.

4. Recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión seleccionadas

- 25 Se obtienen directamente los datos a partir de fotografías de microscopio electrónico óptico y microscopio electrónico tramado y se transfieren estos a modelos 3D con ayuda de programas CAD y FE. La figura 11 a la izquierda muestra un primer modelo en la forma inicial de esferas huecas en una matriz como imagen superficial e imagen lineal. Partiendo de este modelo 3D se desarrollan las diferentes variantes y se ensayan diferentes características físicas de éstas con ayuda de análisis FE.

5. Escalado de los datos recogidos hasta alcanzar los parámetros básicos del material de construcción ligera

El escalado se efectúa sustancialmente sobre la base del patrón original, lo que se hace posible por las leyes de similitud específicas para valvas.

6. Tratamiento de los datos escalados para obtener un juego de datos de un primer modelo para un material de construcción ligera

- 35 El tratamiento se orienta a las posibilidades técnicas de producción para generar prototipos y eventualmente a un procedimiento de producción apto para fabricación en serie.

7. Optimización del primer modelo

- 40 A continuación, se aplican los casos de carga especiales relevantes para llantas de construcción ligera con ayuda de programas de carga prefijados, para poder realizar, con ayuda de programas FE y un software de optimización, una última adaptación del primer modelo a las características de rendimiento requeridas de una llanta de construcción ligera.

Ejemplo de realización 3 - Determinación asistida por ordenador de datos constructivos de un primer modelo para una valva permeable de construcción ligera

1. Habilitación de los parámetros básicos de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar en forma de una valva permeable de construcción ligera

- 50 La estructura de construcción ligera requerida es una valva muy ligera, permeable al gas, pero estable localmente y en toda la estructura, la cual se ha cortado en el presente caso especialmente a la medida de una carcasa de ordenador. Un perfil de requisitos fundamentales para carcasas de ordenador, especialmente de ordenadores portátiles, consiste en una combinación de alta resistencia, pequeño peso, pequeño desarrollo de ruido y alta permeabilidad al aire para garantizar una refrigeración suficiente. Particularmente debido al aumento de la frecuencia de cadencia de nuevos procesadores y chips gráficos y debido al volumen de energía ligado a esto, la producción de calor de los ordenadores se convierte en un problema general. Es especialmente extrema la necesidad de estas propiedades en ordenadores portátiles, cuyas frecuencias de cadencia se regulan en sentido

descendente a causa de la amenaza de sobrecalentamiento, ya que la utilización de sistemas de ventilación está también fuertemente limitada a causa de la alta demanda de energía ligada a esto o bien impulsa el nivel de ruido considerablemente hacia arriba. La geometría deberá poder materializarse con procedimientos de producción corrientes o fáciles de desarrollar. En el presente ejemplo se deberán utilizar especialmente procedimientos nuevos de construcción ligera, tal como el del empleo de esferas huecas.

2. Preselección de organismos unicelulares biomineralizados con arquitecturas de valvas naturales idóneas

Entre los organismos con valvas biológicas de construcción ligera (especialmente organismos unicelulares planctónicos biomineralizados) se ha seleccionado el grupo de las *Diatomeas*, especialmente las diatomeas con las llamadas "areolas loculadas" (estructuras de valvas a manera de nido de abeja con una constitución frecuentemente fractal de los poros). En la figura 12 se ofrecen representaciones de microscopio electrónico tramado y de microscopio electrónico de transmisión de los poros fractalmente constituidos de *Coscinodiscus wailesii* con tamaños de poros de 800 nm, 15 nm y 30 nm. Las valvas de algas silíceas tienen que satisfacer exactamente, debido a la presión de selección específica, estos requisitos de estabilidad y pequeño peso, así como de permeabilidad, estando en primer plano, en lugar del intercambio de calor, el intercambio de nutrientes y productos de metabolismo, pero siguiendo este intercambio los mismos principios. En este caso, es frecuente que no se puedan reconocer los poros más pequeños desde el lado exterior de las valvas ni siquiera con el microscopio electrónico tramado, es decir que son extremadamente pequeños, sin que deba incrementarse fuertemente la resistencia a la difusión.

Como geometrías especialmente adecuadas se han identificado las de especies como *Coscinodiscus*, ya que estas valvas poseen poros muy pequeños, regulares y poco variables en su tamaño. La utilización de una estructura de poros jerárquicamente subdividida según un prototipo biológico en la superficie total de una carcasa de ordenador (en caso necesario, incluyendo el teclado) puede garantizar en este caso un intercambio de calor efectivo. Los criterios establecidos desde el punto de vista técnico de producción - la utilización de procedimientos de producción ya desarrollados - pueden cumplirse con una combinación de cuerpos huecos de tamaño diferente.

Se han realizado ensayos micromecánicos ("ensayo de la aguja", véase más arriba) en diatomeas centrales (*Coscinodiscus* y *Thalassiosira*). Mediante estos ensayos se han podido demostrar propiedades mecánicas generalmente favorables de las valvas, y especialmente los ensayos han proporcionado indicios sobre un alto grado de rigidez. Dado que estas propiedades son provocadas también por la constitución específica en el dominio micrométrico, es posible transferir los principios de construcción a valvas técnicas de otros materiales.

3. Selección de estructuras de precisión de las zonas más prometedoras de las arquitecturas de valvas preseleccionadas

En la estructura general de las *Diatomeas* se han analizado con más exactitud exclusivamente los poros, pero no su disposición, la cual viene dada por la superficie total circular de la valva. Asimismo, no se han incorporado en la selección las zonas marginales ni diversas prolongaciones (rimopórtulas, fultopórtulas) de la valva.

4. Recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión seleccionadas

Se obtuvieron los datos a partir de fotografías de microscopio electrónico óptico y de microscopio electrónico tramado y se transfirieron estos a modelos 3D con ayuda de programas CAD y FE (poros estándar idealizados). Partiendo de este modelo 3D se desarrollan diferentes variantes y se ensayan diferentes características físicas de éstas con ayuda de análisis FE.

5. Escalado de los datos recogidos hasta alcanzar los parámetros básicos de la valva permeable de construcción ligera

El escalado se efectúa sustancialmente sobre la base del patrón original, lo que se hace posible mediante las leyes de similitud específicas para valvas.

6. Tratamiento de los datos escalados para obtener un juego de datos de un primer modelo de la valva permeable de construcción ligera

El tratamiento se orienta a las posibilidades técnicas de producción para generar prototipos y eventualmente a un procedimiento de producción apto para fabricación en serie. En la figura 13 se representa a la izquierda un modelo de capas fractales para una estructura materializable que muestra en primera aproximación tres capas de esferas huecas abiertas en una matriz. Los diámetros máximos de las cavidades están en una relación de 125:5:1, por ejemplo 1 cm, 2 mm y 400 µm. En la figura 13 a la derecha se representa un fragmento de un poro muy pequeño en el modelo. Se pueden apreciar los cuerpos huecos abiertos por abajo y los cuerpos más pequeños incorporados por arriba con función de membrana.

7. Optimización del primer modelo

En la actualidad, se investigan especialmente la estática y la permeabilidad de la estructura con ayuda de cálculos

FE para optimizar aún eventualmente mediante modificaciones las características de rendimiento requeridas.

Lista de símbolos de referencia

	AB	Redondeamiento
	BO	Taladro
5	EM	Primer modelo
	FB	Garganta de llanta
	FK	Cuerpo de llanta
	KP	Placa circular
	RAS	Rayo radial
10	RIS	Rayo anular
	SA	Constitución de los rayos
	ZB	Taladro central

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento asistido por ordenador para determinar datos constructivos de un primer modelo para una estructura técnica de construcción ligera, que comprende los pasos de procedimiento siguientes:
- 5 1. habilitación de los parámetros básicos relevantes de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar con respecto al problema técnico planteado,
 2. preselección de uno o varios organismos unicelulares biomineralizados con arquitecturas de valvas naturales idóneas para los parámetros básicos habilitados,
 3. selección de una o varias estructuras de precisión de las zonas de las arquitecturas de valvas preseleccionadas que son más prometedoras para una materialización técnica,
 - 10 4. recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión seleccionadas,
 5. escalado de los datos constructivos recogidos elevándolos a los parámetros básicos de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar,
 6. combinación y adaptación de los datos constructivos escalados para obtener un juego de datos para un primer modelo de la estructura técnica de construcción ligera a confeccionar y
 - 15 7. optimización del primer modelo.
2. Procedimiento asistido por ordenador según la reivindicación 1 con un archivado de propiedades descriptivas comunes de estructuras técnicas de construcción ligera y arquitecturas de valvas de organismos unicelulares biomineralizados como colección organizada de aspectos y valores de aspecto en un banco de datos.
3. Procedimiento asistido por ordenador según la reivindicación 1 ó 2 con un archivado de una jerarquía -
20 caracterizada por sus propiedades conocidas - de elementos de estructura individuales, subestructuras mayores y arquitecturas de valvas enteras de organismos unicelulares biomineralizados como colección organizada en un banco de datos.
4. Procedimiento asistido por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 con una recogida directa de los datos constructivos de las estructuras de precisión o las subestructuras seleccionadas por medio de al menos un
25 escaneo microscópico semiautomático.
5. Procedimiento asistido por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 con un archivado de los datos constructivos directamente recogidos como colección organizada en un banco de datos.
6. Procedimiento asistido por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 con un archivado de criterios para el escalado, la combinación y la adaptación de los datos constructivos, de primeros modelos y de sus
30 resultados de optimización como colección organizada en un banco de datos.
7. Procedimiento asistido por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 con una preselección de *Arachnoidiscus* o *Coscinodiscus* del grupo de las *Diatomeas* como organismo unicelular biomineralizado.
8. Procedimiento asistido por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 con una preselección de *Feodarios* del grupo de los *Radiolarios* como organismos unicelulares biomineralizados.

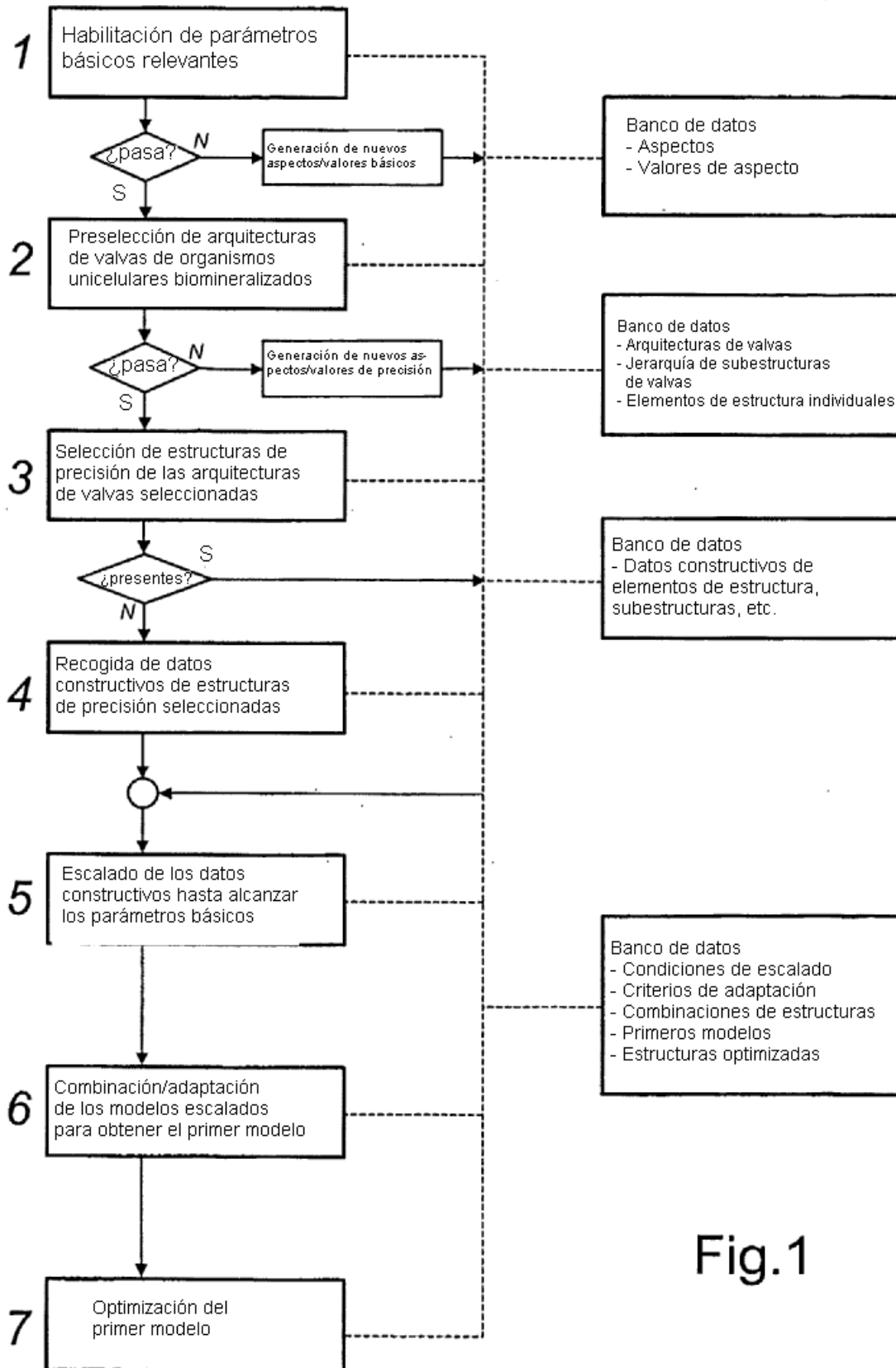
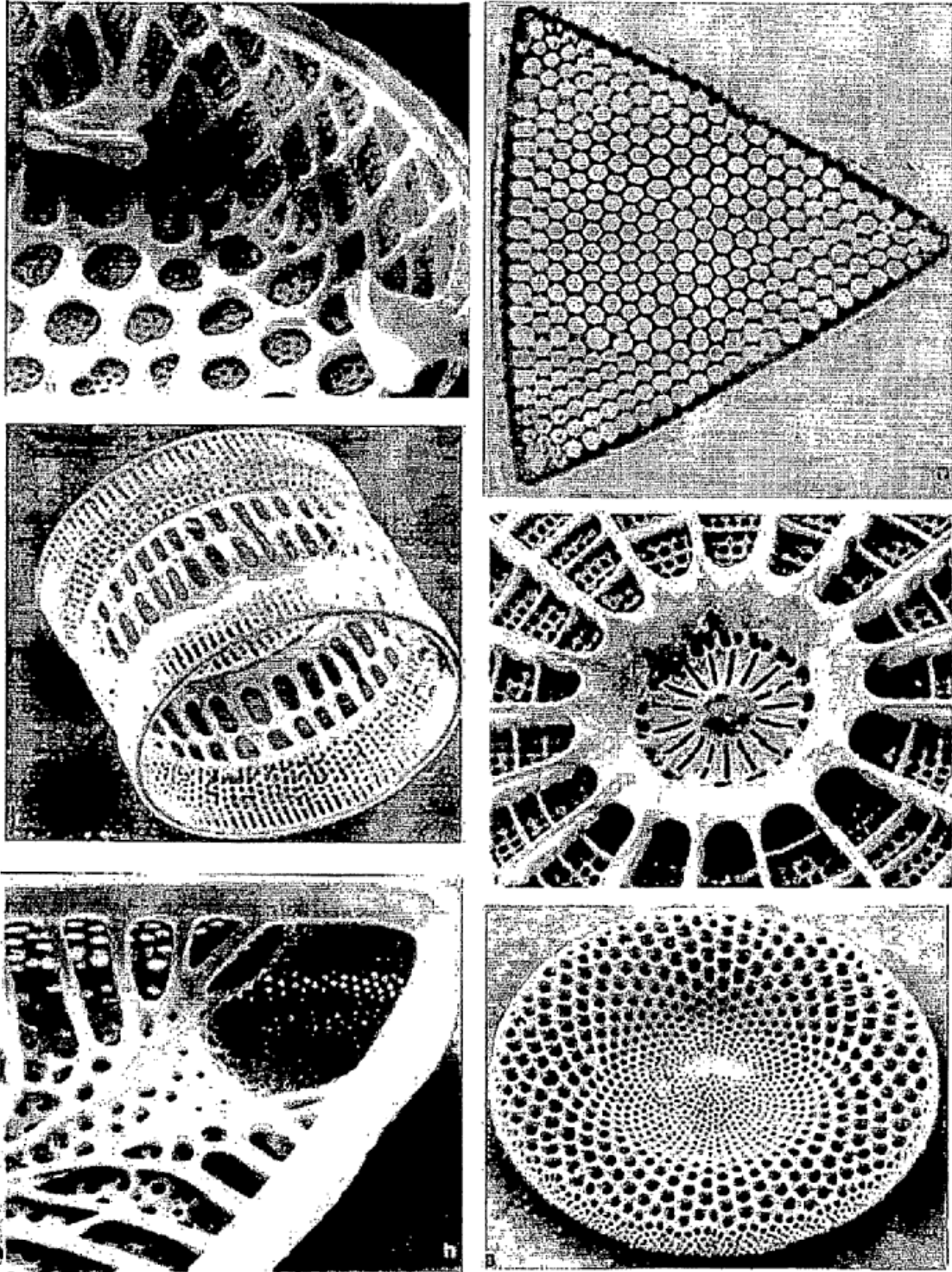


Fig.1



Estado de la técnica

Fig.2

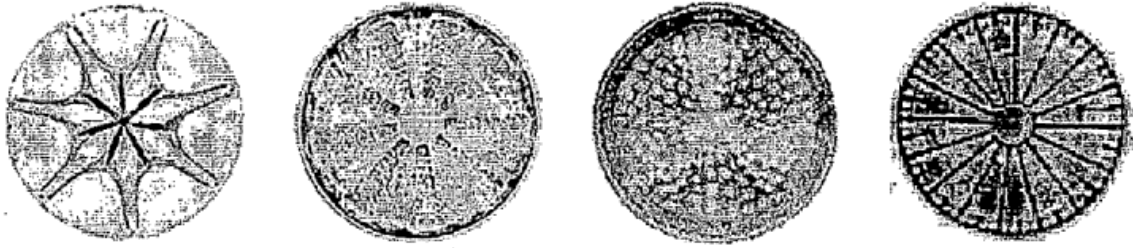


Fig.3

Estado de la técnica

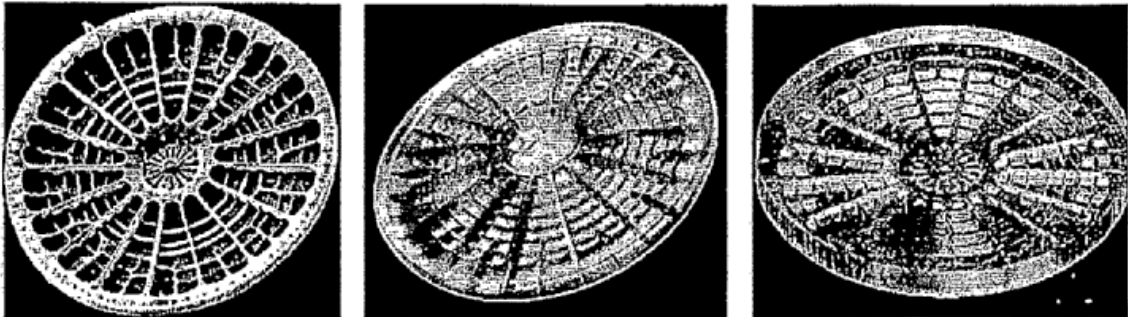


Fig.4

Estado de la técnica

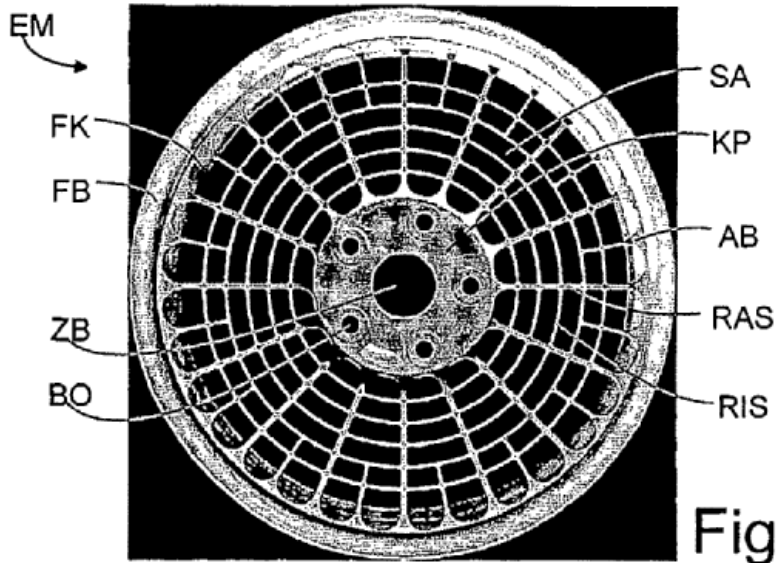


Fig.5

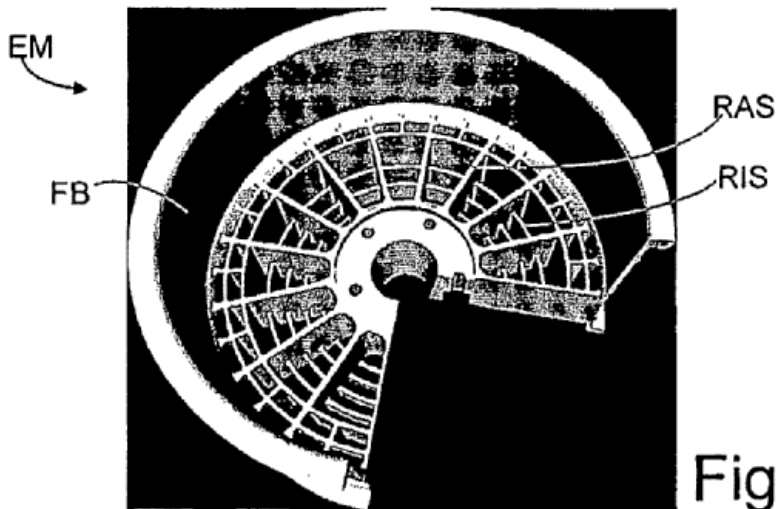


Fig.6

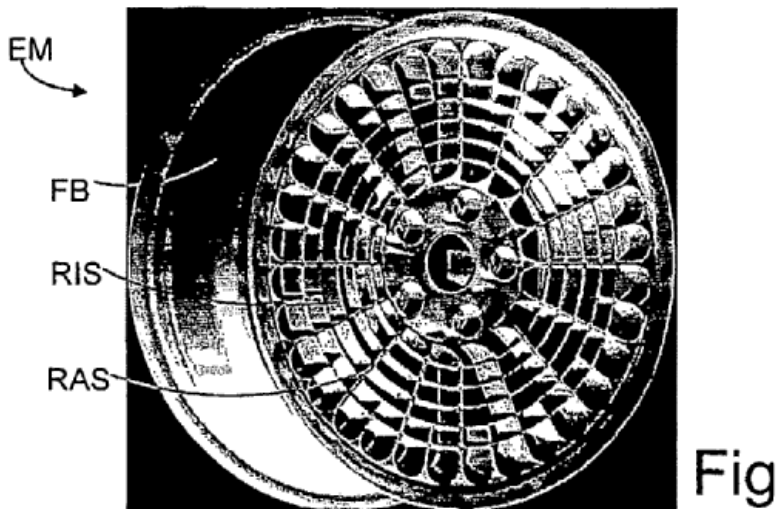
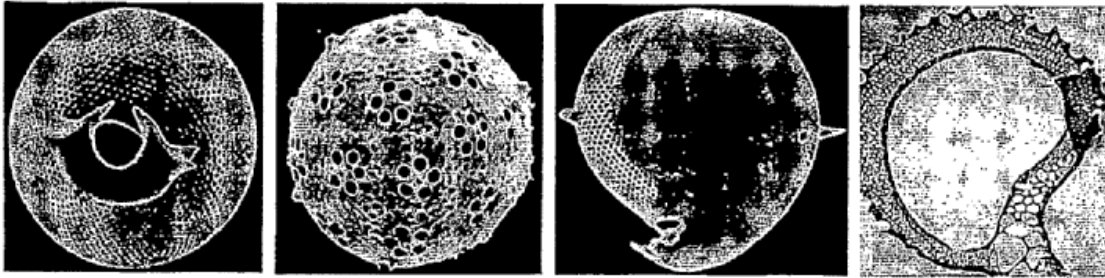
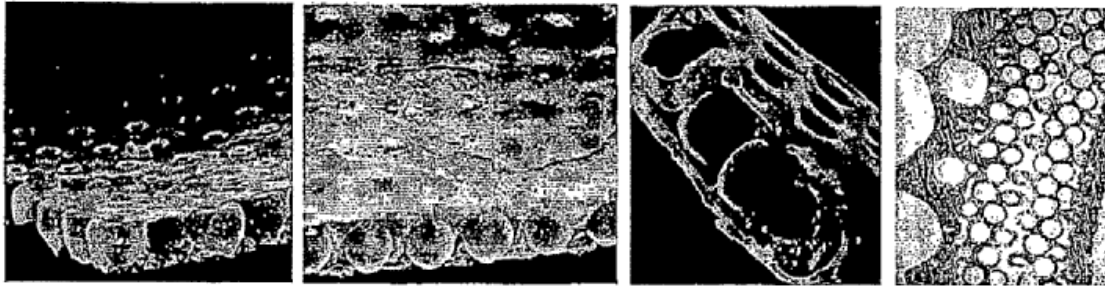


Fig.7



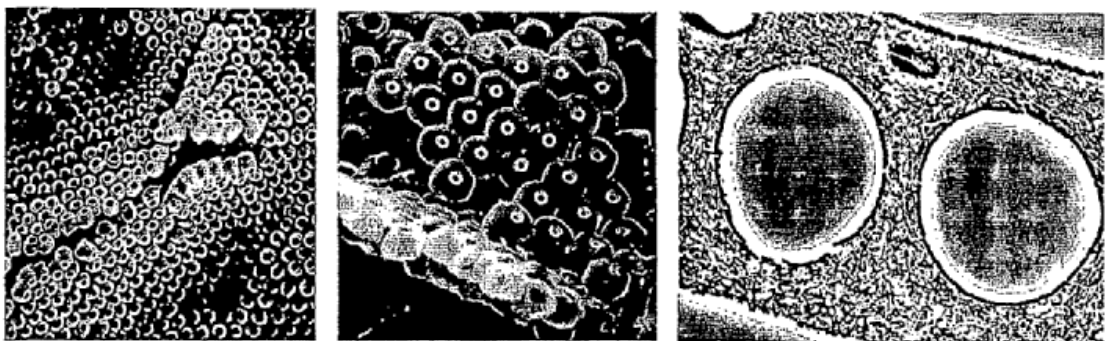
Estado de la técnica

Fig.8



Estado de la técnica

Fig.9



Estado de la técnica

Fig.10

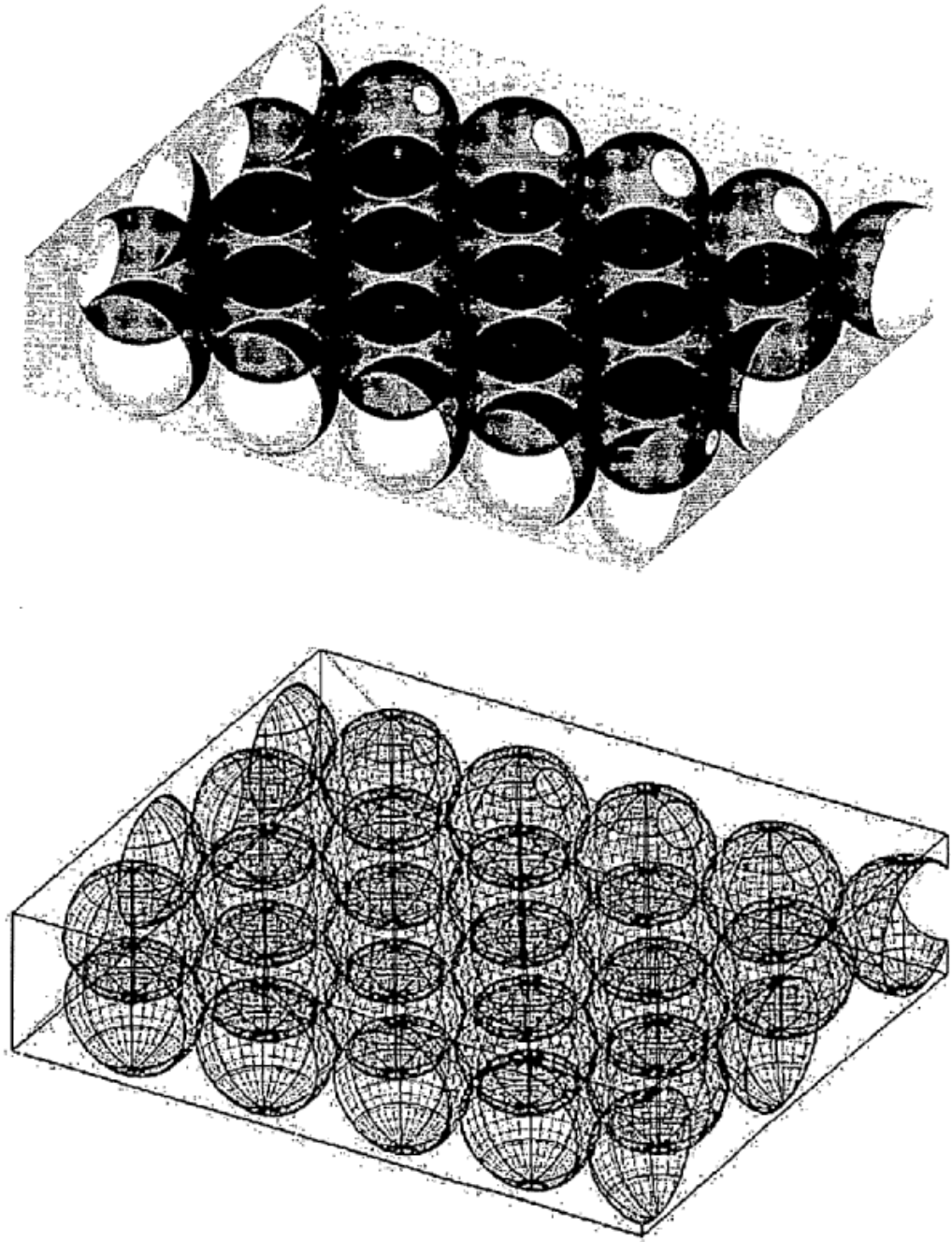
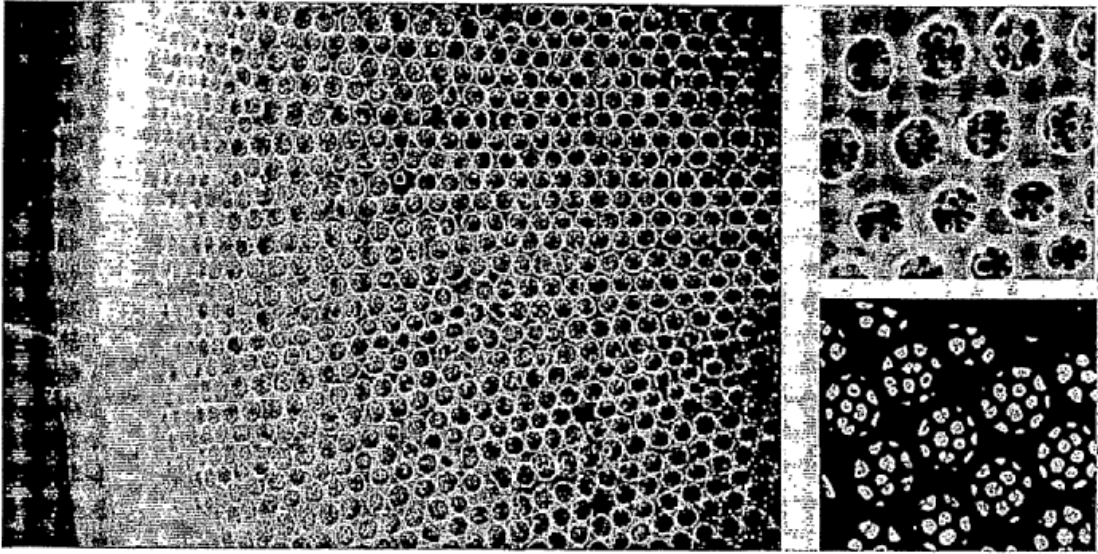


Fig.11



Estado de la técnica

Fig.12

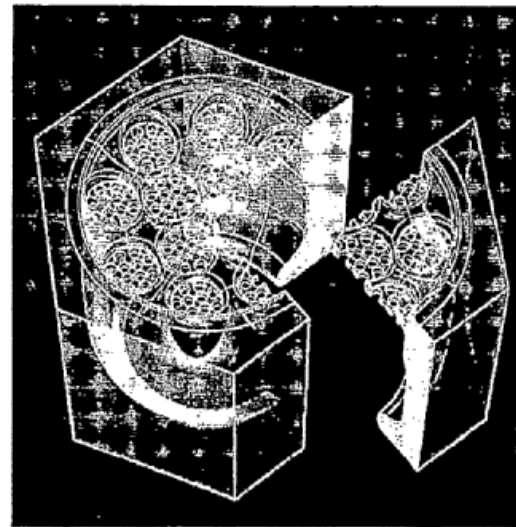
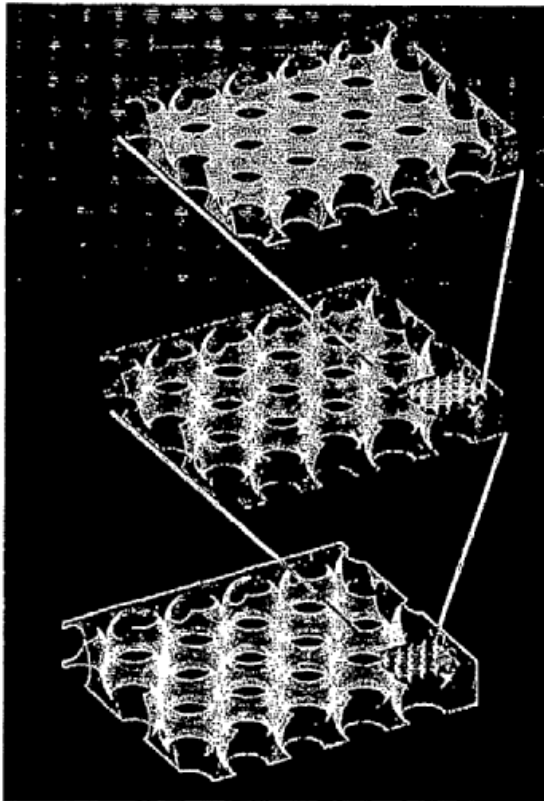


Fig.13