

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 395 899**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

**F03D 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2003** **E 03773556 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2012** **EP 1554493**

54 Título: **Central de energía eólica con superficies estructuradas para mejorar el flujo**

30 Prioridad:

**22.10.2002 DE 10249297**

**14.01.2003 DE 10301080**

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

**15.02.2013**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
WITTELSBACHERPLATZ 2  
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**HERBST, MANFRED**

74 Agente/Representante:

**ZUAZO ARALUZE, Alexander**

**ES 2 395 899 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**

Central de energía eólica con superficies estructuradas para mejorar el flujo

5 La invención se refiere a una central de energía eólica con una torre, un rotor con varias palas del rotor, una góndola y dado el caso otros componentes recorridos por el flujo.

10 En el mix de la generación de energía las turbinas eólicas con diferentes potencias tienen ya un lugar fijo. Mediante los desarrollos de los últimos años se han vuelto estas centrales de energía eólica progresivamente de mayor tamaño y eficiencia.

15 La superficie barrida por el rotor de la central de energía eólica puede considerarse como la superficie de la que puede tomarse energía del viento. En la práctica es un inconveniente que dentro de esta superficie los distintos componentes de la central de energía eólica como la torre, la góndola y el spinner (cono) o el eje de la central de energía eólica signifiquen una perturbación en el flujo de aire. Debido a ello se forman remolinos de aire, turbulencias y zonas al abrigo del viento, que dan lugar a una reducción de la superficie barrida por el rotor y con ello a un menor rendimiento energético.

20 Además es un inconveniente que se influye negativamente también sobre las centrales de energía eólica siguientes en la dirección del viento, debido a las turbulencias generadas. Puesto que sobre estas centrales de energía eólica incide un flujo de aire turbulento, al menos parcialmente distorsionado, empeora su grado de rendimiento.

25 Otro inconveniente ha de considerarse que es que las distintas palas del rotor están sometidas a la fuerza o bien la presión del flujo de aire, lo cual da lugar a una carga por flexión. Al pasar una pala de rotor por delante de la torre de la central de energía eólica, queda descargada la pala del rotor durante un corto espacio de tiempo. De esta manera se produce una variación periódica de la carga, que se manifiesta en indeseadas vibraciones. Estos efectos dinámicos se propagan a través del cubo de las palas del rotor, el generador, cojinetes, ejes, accionamientos, engranajes, hasta la torre, por lo que todos los componentes deben dimensionarse más robustos para asegurar la resistencia permanente necesaria. Estas medidas dan lugar a costes más elevados de la central de energía eólica.

30 Por el documento WO 97/04280 A1 se conoce ya la práctica de influir sobre la capa límite de cuerpos bañados por el flujo mediante una superficie estructurada, necesitándose desde luego para ello campos eléctricos o magnéticos.

35 Los documentos DE-U-29 923 485 y US-A-4 974 633 muestran estructuras superficiales en palas de turbinas eólicas.

La invención se refiere por lo tanto al problema de lograr una central de energía eólica que evite los citados inconvenientes y en la que mejore el comportamiento en cuanto al flujo.

40 Para solucionar este problema se propone una central de energía eólica tal como la indicada en la reivindicación 1.

45 Contrariamente a en las centrales de energía eólica conocidas, que presentan una superficie plana, están previstas en la central de energía eólica correspondiente a la invención cavidades y las correspondientes sobreelevaciones para mejorar el flujo. Estas cavidades influyen sobre el flujo de aire, en particular la capa límite, es decir, la zona entre la superficie del componente y el flujo no distorsionado. En superficies planas que se utilizan según el estado de la técnica, recorre el cuerpo a someter al flujo, en el lado de entrada del flujo, un flujo laminar, existiendo en este punto un flujo sin distorsiones. El punto de transición caracteriza la transición entre los flujos laminar y turbulento. Detrás del punto de transición el flujo de aire es turbulento, lo cual da lugar a un aumento muy fuerte de la resistencia al flujo. En la central de energía eólica correspondiente a la invención con las cavidades y sobreelevaciones sobre la superficie, está desplazado el punto de transición en la dirección del flujo, es decir, las turbulencias se forman sólo posteriormente, con lo que se reduce la resistencia al flujo. Debido a la reducción de la resistencia al flujo, la central de energía eólica completa tiende menos a vibraciones, con lo que los distintos componentes mecánicos están sometidos a menos carga. Otra ventaja adicional reside en que se reduce la interacción entre la torre del rotor y la pala de rotor que pasa por delante, con lo que se reduce igualmente la carga por flexión de la pala del rotor.

50 Otra ventaja adicional de la central de energía eólica correspondiente a la invención ha de considerarse que es que el flujo de aire en la zona de estela detrás de la central de energía eólica se ve menos distorsionado, con lo que las centrales de energía eólica que van a continuación apenas se ven perjudicadas. Por lo tanto es posible emplazar varias centrales de energía eólica en un parque eólico a una distancia inferior una de otra, con lo que puede incrementarse la densidad de energía de la superficie del parque eólico.

60 Un aspecto favorable es que la central de energía eólica correspondiente a la invención es menos sensible a ensuciamientos y a la congelación. Este efecto se atribuye a la mayor velocidad del aire en las cavidades.

65

La central de energía eólica correspondiente a la invención presenta además la ventaja de que se reducen las emisiones de ruido en comparación con instalaciones tradicionales. El nivel de ruido que resulta, así como las vibraciones periódicas que se transmiten desde la central de energía eólica al suelo, no se desean, ya que los habitantes de las proximidades los encuentran desagradables. Este problema puede solucionarse con la central de energía eólica correspondiente a la invención, ya que los perjuicios descritos se reducen muy fuertemente, lo que da lugar a una elevada aceptación de esta tecnología.

Las cavidades sobre la superficie de la central de energía eólica correspondiente a la invención pueden tener distintas formas. Es especialmente favorable que presenten esencialmente forma semiesférica.

Superficies configuradas de forma similar se utilizan en pelotas de golf y confieren a la pelota de golf mejores características de vuelo mediante efectos aerodinámicos. La utilización de semiesferas como cavidades es especialmente procedente en los lugares que son recorridos por el flujo desde distintas direcciones, por ejemplo en las torres del rotor. No obstante es posible también utilizar cavidades configuradas de otra forma, por ejemplo con la forma de medio perfil de gota. Los perfiles de gota son especialmente favorables para el flujo, es decir, generan sólo una resistencia mínima. Los perfiles de gota son adecuados especialmente para las palas del rotor, ya que la dirección del flujo de entrada en las palas del rotor es esencialmente constante.

Es ventajoso disponer regularmente las cavidades sobre la o las superficies. Por ejemplo pueden estar dispuestas las cavidades en filas, pudiendo estar decaladas entre sí las filas contiguas. De esta manera se logra un buen aprovechamiento de la superficie.

Las cavidades están dispuestas en una pala de rotor esencialmente en la zona entre el punto de transición entre flujo laminar y turbulento y el borde extremo de la pala del rotor. En esta configuración no presenta la zona del apéndice de la pala del rotor recorrida por flujo laminar cavidad alguna. Las cavidades están dispuestas en la zona en la que en las palas de rotor tradicionales se realiza la transición entre flujo laminar y turbulento. Las cavidades provocan que el punto de transición se desplace en la dirección del flujo, con lo que el tramo de recorrido laminar del flujo se alarga. Este efecto trae como consecuencia que la zona turbulenta sea bastante más pequeña que en las centrales de energía eólica tradicionales.

La invención puede realizarse de manera especialmente fácil cuando las cavidades están configuradas sobre un material de soporte plano, que puede fijarse sobre o a la central de energía eólica. De esta manera pueden dotarse las centrales de energía eólica también a posteriori de la estructura superficial que presenta las cavidades. El manejo es especialmente sencillo cuando el material de soporte es una lámina, en particular una lámina autoadhesiva.

Otras ventajas y particularidades de la invención se describirán más en detalle en base a ejemplos de ejecución con referencia a las figuras. Las figuras son representaciones esquemáticas y muestran:

- figura 1 una cavidad con forma semiesférica en la superficie de una central de energía eólica correspondiente a la invención en una vista lateral en sección;
- figuras 2-7 la cavidad mostrada en la figura 1 y los efectos aerodinámicos al pasar el aire por delante en distintas etapas;
- figura 8 la formación de remolinos de flujo en las cavidades;
- figura 9 una vista en planta de un panel con cavidades dispuestas regularmente, así como la evolución del flujo generado de esta forma;
- figura 10 una torre del rotor recorrida por el flujo de entrada de una central de energía eólica tradicional y el campo de flujo generado en una vista en sección horizontal;
- figura 11 una torre del rotor de una central de energía eólica correspondiente a la invención y el campo de flujo generado en una vista horizontal seccionada, y
- figura 12 una central de energía eólica correspondiente a la invención, cuya superficie presenta al menos en parte cavidades para mejorar el flujo.

La figura 1 muestra una cavidad 1 con forma semiesférica en la superficie 2 de una central de energía eólica en una vista lateral seccionada. Tal como puede observarse en la figura 1, la superficie 2 es recorrida por el flujo esencialmente en paralelo a la superficie. La cavidad 1 con forma semiesférica mostrada en este ejemplo de ejecución ha de entenderse solamente a modo de ejemplo. En lugar de la forma semiesférica puede elegirse también la forma de medio perfil de gota u otra forma que conduzca a una mejora del flujo.

Al pasar el aire por delante de la cavidad 1 se forma en la cavidad 1 un remolino de aire 3, que apoya el paso por delante del aire y que acelera el volumen de aire. La intensidad de este efecto depende de la velocidad de entrada del flujo, el ángulo de ataque, la presión del aire, la temperatura del aire, la forma y configuración de la cavidad 1. Los remolinos 3 que se forman en cada cavidad funcionan para el aire que pasa por delante como un "cojinete de bolas", no viéndose distorsionado o sólo levemente el flujo laminar en la superficie 2.

Las figuras 2-7 muestran la cavidad 1 mostrada en la figura 1 y los efectos aerodinámicos al pasar por delante el aire en distintas etapas.

5 La figura 2 es una vista en planta y representa la superficie 2 de un componente de la central de energía eólica dotado de una cavidad 1. De la cavidad 1 con forma semiesférica puede observarse en la figura 2 el borde con forma circular. La cavidad 1 es recorrida por el flujo de aire que pasa por delante esencialmente en forma laminar, formándose debido a ello primeramente dos remolinos de aire 3, 4 simétricos.

10 La figura 3 muestra la cavidad de la figura 2 poco tiempo después. Debido a asimetrías en la llegada del flujo, se ha formado el remolino dominante 3 en la cavidad 1 y por el contrario el otro remolino de aire 4 se ha vuelto más débil. En la figura 3 puede observarse también que las líneas de flujo 5 del aire que pasa por delante están desviadas lateralmente entre los remolinos de aire 3, 4.

15 Tal como se muestra en la figura 4, ha evolucionado el remolino de aire 3 dominante, situado en un lado, para formar un "tornado", es decir, se ha formado un remolino pequeño, local, en el que el aire asciende, con lo que el mismo se mueve alejándose de la superficie 2. Así se ha formado a partir de la cavidad 1 un remolino de aire 3 que sigue impulsando el aire que pasa por delante en la dirección del flujo. En la figura 4 puede observarse también que el aire que pasa por delante se desvía hacia un lado.

20 La figura 5 muestra las condiciones de flujo poco tiempo después. El remolino de aire 3 se quiebra de nuevo debido a asimetrías en el flujo, con lo que se reduce la magnitud del remolino dominante. A la vez comienza el otro remolino de aire 4 a expandirse. Contrariamente a en el estado de la figura 4, no experimenta el aire que pasa por delante en esta situación ninguna desviación de dirección, es decir, no se ve influido.

25 La figura 6 muestra las condiciones de flujo un poco después. El remolino de aire 4 comienza a dominar, ya que el mismo es bastante más grande y fuerte que el otro remolino de aire 3. Puede observarse también que las líneas de flujo 6 del aire que pasa por delante experimentan una desviación lateral. Los remolinos de aire 3, 4 presentan sentidos de giro opuestos, por lo que se desvían las líneas de flujo 6 del aire que pasa por delante en la dirección lateral contraria al estado representado en la figura 4, en la que dominaba el remolino de aire 3.

30 La figura 7 muestra las condiciones de flujo poco tiempo después. El remolino de aire 4 que circula en sentido contrario al remolino de aire 3, se ha convertido en un remolino más grande, que sigue impulsando el aire que pasa por delante de la cavidad 1 hacia fuera de la misma en la dirección del flujo.

35 En la evolución a continuación se quiebra también el remolino de aire 4 de nuevo debido a asimetrías en el flujo, con lo que la secuencia representada se repite continuamente.

40 La figura 8 muestra la aparición de remolinos de flujo en las cavidades. La central de energía eólica incluye usualmente un conjunto de cavidades 1 que están configuradas sobre la superficie de las palas del rotor, de la torre, de la góndola o de otro componente recorrido por el flujo. Partiendo de cada cavidad individual 1, se forman pequeños remolinos de flujo, que siguen impulsando el aire que pasa por delante en la dirección del flujo. Tras un cierto tiempo se quiebra el remolino y aparece un remolino con sentido de giro contrario. Las cavidades contiguas 1, 7 pueden entonces presentar el mismo sentido de giro o el sentido de giro contrario. La resistencia de rozamiento en la capa límite entre el aire que pasa por delante y la superficie se reduce entonces y además se apoya y acelera el flujo de aire en la superficie. Puesto que la energía total de un sistema cerrado no puede aumentar, se consume a la vez energía en otros puntos, por ejemplo debido a efectos de rozamiento, es decir, la energía de rozamiento en los sistemas tradicionales se utiliza en parte para generar los remolinos de aire, que a su vez reducen las pérdidas de rozamiento totales.

50 La figura 9 muestra un panel con cavidades dispuestas regularmente y el campo de flujo resultante. Tal como puede observarse en la figura 9, están dispuestas las cavidades en filas horizontales, estando decaídas lateralmente las filas contiguas tal que cada cavidad 1 esencialmente presenta la misma distancia a todas las cavidades contiguas. Los remolinos de aire que giran hacia izquierda y derecha se alternan a lo largo del tiempo y sobre la superficie 2 recorrida por el flujo se forma un dibujo de estos remolinos alternantes, que llegan en función de la velocidad de entrada del flujo y de otros parámetros aerodinámicos esencialmente desde una cavidad 1 hasta la siguiente cavidad 1. Estos remolinos de aire 3, 4 apoyan y aceleran el flujo de aire por toda la superficie 2.

60 La figura 10 muestra esquemáticamente una torre de rotor recorrida por el flujo de una central de energía eólica tradicional y el campo de turbulencias generado en una vista horizontal seccionada. La torre del rotor 8 presenta una sección de forma circular. La masa de aire 9 que fluye entrando es esencialmente laminar, es decir, las distintas líneas de flujo discurren en paralelo entre sí y el aire está libre de turbulencias. Los puntos de transición 10 se encuentran, observados en la dirección del flujo, en los lados de la torre del rotor izquierdo y derecho en la zona del máximo diámetro. El punto de transición 10 caracteriza el lugar en el que el flujo laminar 9 cambia a flujo turbulento 11. Tal como puede observarse en la figura 10, tiene la zona de la estela con el flujo turbulento 11 una forma ligera

de cono, con lo que la zona turbulenta aumenta detrás de la central de energía eólica. Las siguientes centrales de energía eólica están sometidas a aire turbulento, lo cual origina una reducción de su grado de rendimiento.

5 La figura 11 es una representación similar a la de la figura 10 y muestra una torre de rotor 12, que está dotada en el exterior de una lámina 13, presentando la lámina 13 cavidades para mejorar el flujo. A diferencia de la torre de rotor mostrada en la figura 10, posee el aire 16 laminar que llega a la torre del rotor 12 dotada de la lámina 13, un tramo del recorrido laminar bastante más largo, con lo que los puntos de transición 14 están desplazados en la dirección del flujo. Tal como puede observarse en la figura 11, se encuentran los puntos de transición 14 detrás del diámetro más grande de la torre del rotor 12, con lo que el flujo hasta allí tiene muy poco rozamiento. El flujo turbulento 15 puede configurarse sólo a continuación. Contrariamente a en el ejemplo representado en la figura 10, la zona del flujo turbulento 15 es bastante más pequeña, con lo que las siguientes centrales de energía eólica se ven claramente menos influidas. Es por lo tanto posible emplazar las distintas centrales de energía eólica de un parque eólico a una distancia inferior, con lo que resulta un mejor aprovechamiento de la superficie y un mayor rendimiento de energía por unidad de superficie.

10  
15 La figura 12 muestra en una vista esquemática una central de energía eólica, cuya superficie presenta al menos en parte cavidades para mejorar el flujo. La central de energía eólica designada con 17 en su conjunto está compuesta esencialmente por una torre 12, un rotor con varias palas de rotor 18, una góndola 19 para alojar el generador, así como un spinner (cono) 20, que cubre la zona del cubo del rotor.

20 Aquellas zonas de la superficie de los distintos componentes de la central de energía eólica 17 que están dotadas de cavidades se representan en la figura 12 rayadas. La torre del rotor 12 está dotada, a excepción de su parte inferior, por completo de cavidades para mejorar el flujo. Igualmente están dotadas la góndola 19 y el spinner (cono) 20 de cavidades en toda su superficie. Las palas del rotor 18 presentan en sus caras superior e inferior zonas con forma de banda que discurren en dirección longitudinal y que están dotadas de cavidades.

25 Contrariamente a en el conocido efecto de lija, con el que puede lograrse una reducción del rozamiento en aproximadamente un 10%, han dado como resultado los primeros ensayos previos que en la central de energía eólica es de esperar una mejora en un 30%.

30

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Central de energía eólica con una torre, un rotor con varias palas de rotor, una góndola y dado el caso otros componentes recorridos por el flujo, con lo que la superficie de las palas del rotor (18) y dado el caso de la torre (12) y/o de la góndola (19) y/o de los otros componentes presenta al menos en parte cavidades (1) para mejorar el flujo, **caracterizada porque** las cavidades (1) en una pala del rotor (18) están dispuestas esencialmente en la zona entre el punto de transición entre flujo laminar y turbulento y el borde extremo de la pala del rotor (18) y porque la forma y la configuración de las cavidades (1) están diseñadas tal que al pasar el aire por delante de la
- 10 cavidad (1) se configura en la cavidad (1) un remolino de aire (3), que apoya el paso por delante del aire y que acelera el volumen de aire.
- 15 2. Central de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada porque** las cavidades (1) presentan esencialmente la forma de una semiesfera o de un semiperfil de gota.
3. Central de energía eólica según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada porque** las cavidades (1) están dispuestas regularmente.
- 20 4. Central de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** las cavidades (1) están dispuestas en filas.
5. Central de energía eólica según la reivindicación 4, **caracterizada porque** las filas están dispuestas decaladas entre sí.
- 25 6. Central de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** las cavidades (1) están configuradas sobre un material de soporte plano, que puede fijarse sobre o a la central de energía eólica (17).
- 30 7. Central de energía eólica según la reivindicación 6, **caracterizada porque** el material de soporte es una lámina (13).
- 35 8. Central de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** la estructura y los perfiles de las palas del rotor (18) están adaptados a la velocidad de pérdida de contacto modificada por las cavidades (1).
9. Central de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** el software de control está adaptado a la velocidad de pérdida de contacto modificada por las cavidades (1).
- 40 10. Central de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** su superficie es insensible a la suciedad y a la congelación.

FIG 1

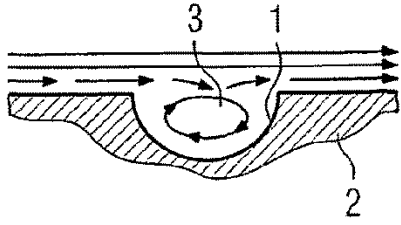


FIG 2

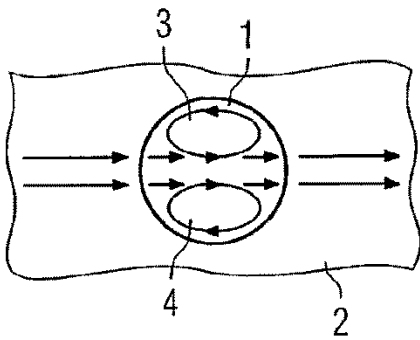


FIG 5

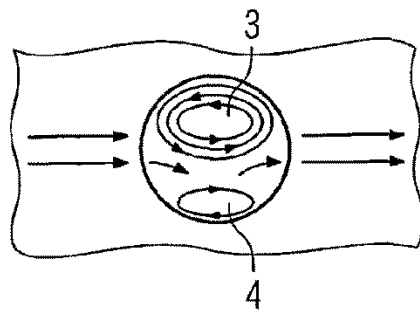


FIG 3

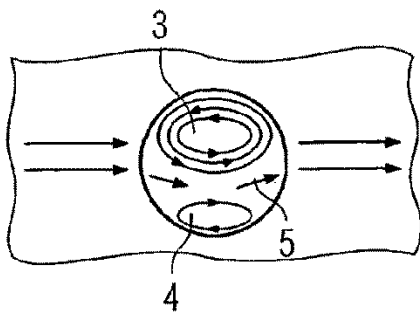


FIG 6

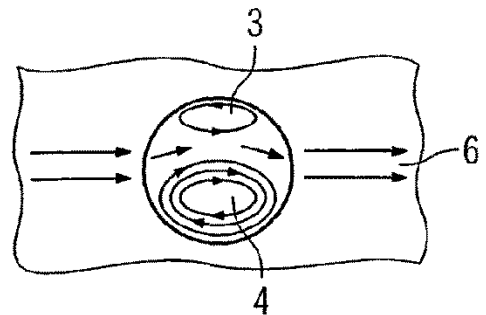


FIG 4

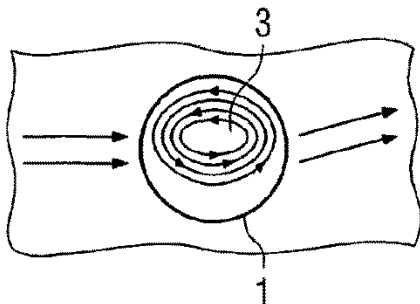


FIG 7

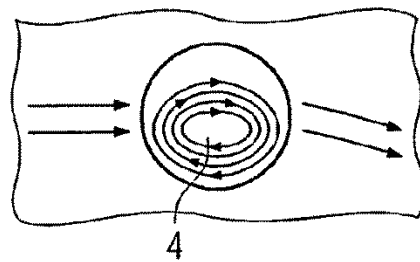


FIG 8

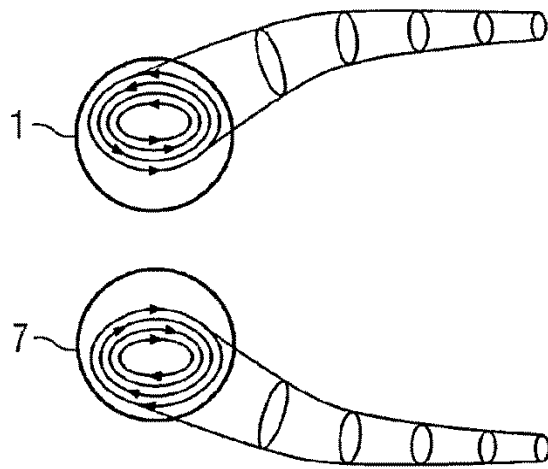


FIG 9

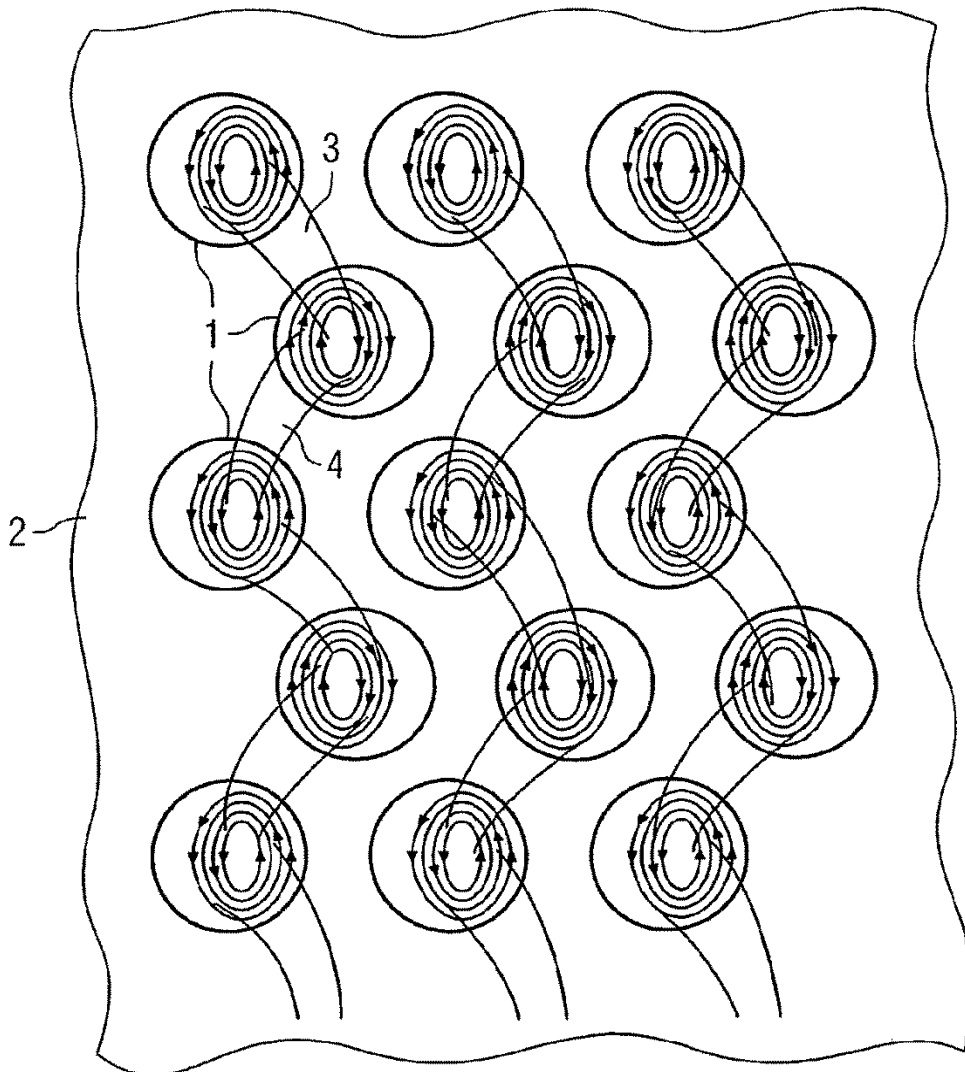




FIG 10

Estado de la técnica

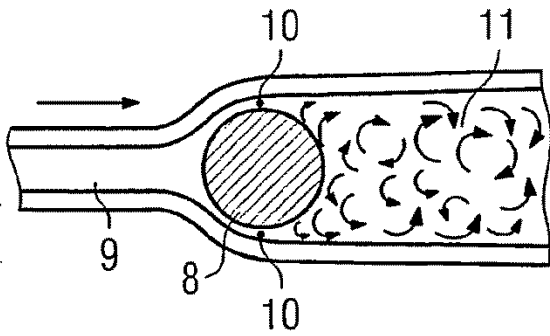


FIG 11

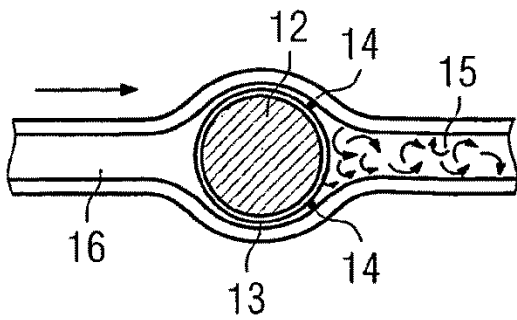


FIG 12

