

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 127**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/322** (2006.01)

**G21C 3/34** (2006.01)

**G21C 3/344** (2006.01)

**G21C 3/352** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2010 E 10185560 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2013 EP 2306466**

54 Título: **Haz de combustible nuclear con tipos de separadores mezclados**

30 Prioridad:

**02.10.2009 US 572491**

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

**21.10.2013**

73 Titular/es:

**GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, LLC  
(100.0%)**

**3901 Castle Hayne Road  
Wilmington, North Carolina 28401, US**

72 Inventor/es:

**AKTAS, BIROL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 426 127 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

Haz de combustible nuclear con tipos de separadores mezclados

### Antecedentes

#### Campo

- 5 La presente invención se refiere, en general, a estructuras de combustible utilizadas en las plantas de energía nuclear y a procedimientos para el uso de estructuras de combustible.

#### Descripción de la técnica relacionada

- 10 En general, las plantas de energía nuclear incluyen un núcleo de reactor que tiene combustible dispuesto en el mismo para producir energía por fisión nuclear. Un diseño común en las plantas de energía nuclear de Estados Unidos es colocar combustible en una pluralidad de barras de combustible revestidas unidas juntas como un conjunto de combustible, o haz de combustible, colocado dentro del núcleo del reactor. Estos haces de combustible típicamente incluyen varios elementos separadores colocados axialmente a lo largo del haz para amortiguar las vibraciones de las barras de combustible, asegurar una separación mínima y la colocación relativa de las barras de combustible, y la mezcla de refrigerante que fluye axialmente a través del haz y los separadores en el mismo.
- 15 Como se muestra en la figura 1, un haz de combustible 10 convencional de un reactor nuclear, tal como un BWR, puede incluir un canal exterior 12 que rodea una placa de sujeción superior 14 y una placa de sujeción inferior 16. Una pluralidad de barras de combustible 18 de longitud completa y/o barras de combustible 19 de longitud parcial pueden colocarse en una matriz dentro del haz de combustible 10 y pasar a través de una pluralidad de separadores 20 separados axialmente entre sí y mantener las barras 18, 19 en la matriz dada de las mismas. Las barras de combustible 18 y 19 son generalmente continuas desde su base al terminal, el cual, en el caso de la barra de combustible 18 de longitud completa, es desde la placa de anclaje inferior 16 a la placa de anclaje superior 14. De manera convencional, un haz de combustible 10 utiliza separadores 20, teniendo todos los separadores una misma característica operativa o hidráulica, de tal manera que todos los separadores 20 pueden identificarse como un solo tipo de separador.
- 20 Ejemplos de haces de combustible de un solo tipo de separador se divulgan en los documentos EP 0 692 794, EP 0 611 128, JP 1-138493, US 4 698 204, EP 0 514 116 y EP 0 619 581.

#### Sumario

- 30 La presente invención proporciona un haz de combustible nuclear que comprende: una pluralidad de barras de combustible dispuestas en un canal en una dirección axial; un separador de tipo rejilla que abarca el canal en una dirección transversal en una primera posición axial, pasando al menos una parte de las barras de combustible a través y estando alineadas mediante el separador de tipo rejilla; y un separador de tipo virola que se extiende en el canal en la dirección transversal en una segunda posición axial, estando la primera posición axial más cerca de una entrada de refrigerante del haz de combustible nuclear que la segunda posición axial, pasando al menos una porción de las barras de combustible a través y estando alineadas mediante el separador de tipo virola.
- 35 Realizaciones de ejemplo están dirigidas a un diseño de un haz que usa múltiples tipos de separadores de combustible dentro del mismo haz de combustible. El tipo de separador para cada posición del separador se puede determinar sobre la base de la posición axial del separador, las características del separador, las características del refrigerante para el haz de combustible particular, la posición para el haz de combustible particular, etc. Los datos de rendimiento histórico, modelos predictivos, y/o análisis de ingeniería se pueden utilizar para determinar qué tipos de separadores en qué posiciones resultan en las mejores condiciones de operación y márgenes, por ejemplo, para los haces de combustible.
- 40

#### Breve descripción de los dibujos

- 45 Realizaciones de ejemplo se harán más evidentes mediante la descripción, en detalle, de los dibujos adjuntos, en los que elementos similares están representados por números de referencia similares, que se dan a modo de ilustración solamente y, por lo tanto, no limitan las realizaciones de ejemplo en este documento.

La figura 1 es una ilustración de un conjunto de combustible de la técnica relacionada con separadores de tipo rejilla fijados en el conjunto.

La figura 2 es una ilustración de una realización de ejemplo de un separador de combustible de tipo rejilla que se puede utilizar en los conjuntos de combustible de ejemplo.

- 50 La figura 3 es una ilustración de una realización de ejemplo de un separador de combustible de tipo virola que se puede utilizar en los conjuntos de combustible de ejemplo.

La figura 4 es una ilustración de una realización de ejemplo de un conjunto de combustible que tiene separadores de

combustible de tipo mixto.

### Descripción detallada

Realizaciones detalladas ilustrativas de realizaciones de ejemplo se describen en este documento. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos descritos en el presente documento son meramente representativos para fines de descripción de realizaciones de ejemplo. Los ejemplos de realización pueden, sin embargo, realizarse en muchas formas alternativas y no se deben interpretar como limitados a sólo los ejemplos de realización indicados en este documento.

Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. pueden usarse en este documento para describir diversos elementos, estos elementos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos sólo se utilizan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento y, de manera similar, un segundo elemento se podría denominar un primer elemento, sin apartarse del alcance de las realizaciones de ejemplo. Como se usa en este documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

Se entenderá que cuando se indica que un elemento está "conectado", "acoplado", "unido", "conectado", o "fijado" a otro elemento, puede estar conectado o acoplado directamente al otro elemento o pueden estar presentes elementos que intervienen. En contraste, cuando se indica que un elemento está "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre los elementos deben interpretarse de manera similar (por ejemplo, "entre" respecto a "directamente entre", "junto" respecto "justo al lado", etc.).

La terminología usada en este documento es con el propósito de describir realizaciones particulares solamente y no se pretende que sea limitativa de realizaciones de ejemplo. Como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "una" y "el", "la" pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el lenguaje indique explícitamente lo contrario. Se entenderá también que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se usan en este documento, indican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes, pero no excluye la presencia o la adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes, y/o grupos de los mismos.

La figura 2 es una ilustración de una realización de ejemplo de un separador de tipo rejilla 21. Como se usa en este documento, un "tipo" de separador específico se refiere generalmente a todos los separadores que tienen características hidráulicas y operativas sustancialmente similares, independientemente de otras variaciones menores en la forma, tamaño, número de matrices de barras, etc. Como se muestra en la figura 2, los separadores de tipo rejilla 21 son una celosía metálica soldada dividida en varias "cajas" 27, a través de las cuales pueden pasar las barras de combustible 18/19. Los separadores de tipo rejilla pueden sujetar por fricción las barras de combustible a través de la utilización de segmentos resistivos de contacto 22, conocidos como topes y/o muelles, que topan con el exterior de cada barra que pasa a través del separador 20. Unas lengüetas y/o aletas de mezcla 23 pueden extenderse desde el separador 21, para mezclar mejor un refrigerante/moderador que fluye a través del separador 21 y las barras de combustible que se extienden a través del mismo. La realización de ejemplo del separador de tipo rejilla 21 puede modificarse de varias maneras y todavía puede considerarse como un separador de tipo rejilla.

Por ejemplo, los huecos para barras de agua en el separador se pueden cambiar de tamaño, de forma, u omitirse. O por ejemplo, el número y la posición de las cajas 27 se pueden variar dependiendo de las dimensiones y de las características de conjunto de combustible. Estas variaciones pueden tener un efecto insignificante sobre las propiedades hidráulicas generales de la realización de ejemplo de los separadores de tipo rejilla, lo que les permite seguir clasificándose como separadores de tipo rejilla.

La figura 3 es una ilustración de una realización de ejemplo de un separador de tipo virola 25, que incluye varias virolas 26 dispuestas en una rejilla. Cada virola 26 puede encajar elásticamente alrededor de la circunferencia de una barra de combustible 18/19, permitiendo menos contacto entre una barra de combustible 18/19 y el separador 25 y/o proporcionando una trayectoria de flujo menos restrictiva para una película de líquido que fluye a través de los huecos entre las barras de combustible 18/19 y el separador 25. Una realización de ejemplo de los separadores 21 y 25 puede mantenerse estacionaria en posiciones axiales constantes dentro del haz de combustible cuando el refrigerante fluye axialmente a alta velocidad a través del haz 10 y puede mantener las barras de combustible 18/19 en una orientación estática dentro de un haz de combustible. La realización de ejemplo del separador de tipo virola 25 puede modificarse de varias maneras, y todavía puede considerarse como un separador de tipo virola. Por ejemplo, los huecos para las barras de agua en el separador se pueden cambiar de tamaño, de forma, u omitirse. O por ejemplo, el número y la posición de las virolas 26 pueden variar dependiendo de las dimensiones y de las características de conjunto de combustible. Estas variaciones pueden tener un efecto insignificante sobre las propiedades hidráulicas generales de la realización de ejemplo del separador de tipo virola, lo que les permite seguir clasificándose como separadores de tipo virola.

Los inventores han reconocido que los separadores de combustible de tipo rejilla, tales como los que se muestran en la figura 2, que tienen lengüetas o aletas de mezcla mejoran el flujo de mezcla de un líquido refrigerante/moderador

que fluye a través de los separadores y el haz de combustible que contiene el mismo. El aumento de flujo resulta en una relación de rendimiento y de potencia crítica mejorada para algunos haces de combustible que emplean separadores de rejilla con aletas de mezcla.

5 Los inventores han reconocido, sin embargo, que los separadores de tipo rejilla pueden empeorar la respuesta del combustible en escenarios de accidentes o transitorios, que implican una pérdida abrupta del flujo de refrigerante a través del núcleo. Los inventores han identificado que la geometría entre las rejillas de los separadores de tipo rejilla y la barra de combustible cilíndrica forma una "cuña" 24, que se muestra en el detalle A de la figura 2, entre la circunferencia de la barra de combustible y la esquina de cada rejilla que pueden romper la película de líquido fuera de la circunferencia de la barra de combustible, lo que puede precipitar la formación de parches secos en las superficies de las barras de combustible. La pérdida de contacto con el refrigerante líquido sobre las superficies de las barras de combustible disminuye en gran medida la transferencia de calor al refrigerante, lo que resulta en que la barra de combustible se sobrecalienta y en el daño potencial a la misma.

15 Los inventores han reconocido también que los separadores de combustible de tipo virola, tales como los que se muestran en la figura 3, no se rompen la película de líquido de las superficies de las barras de combustible en la medida en que hacen los separadores de tipo rejilla. Como se muestra en la figura 3, las rejillas de los separadores de tipo virola no tienen la "cuña" 24 presente en las rejillas del separador de tipo rejilla, que pueden promover el arrastre del líquido desde la película de líquido, acelerando la pérdida de contacto con el refrigerante líquido en la superficie de la barra de combustible y/o la degradación de la transferencia de calor al refrigerante. Las pruebas en haces a escala completa simulando una pérdida repentina del flujo de refrigerante del núcleo en reactores de agua en ebullición avanzada (ABWRs) demostraron una menor sensibilidad de los separadores de tipo virola a las condiciones de flujo transitorio en relación con la de los separadores de tipo rejilla, en parte debido a la capacidad de los separadores de tipo virola para prolongar el contacto entre el flujo de la película de líquido y las superficies de las barras de combustible. En las pruebas, la respuesta a este evento de flujo transitorio, medida como la relación de un margen inicial de secado para el margen más pequeño registrado durante el transitorio, es aproximadamente un décimo parte mejor con separadores de tipo virola que con separadores de tipo rejilla.

20 Los inventores han identificado que los separadores en las posiciones de salida - posiciones en el haz de combustible más cerca de la salida de refrigerante que fluye a través del haz de combustible - pueden ser más susceptibles a la inducción de la pérdida de contacto entre el flujo de la película de líquido y las superficies de las barras de combustible y la inducción de la formación posterior de parches secos durante las condiciones de flujo transitorio. En particular, durante los escenarios de flujo transitorio, cerca de la salida del haz, los separadores de tipo virola pueden prolongar el contacto entre película de líquido y las superficies de las barras de combustible en relación con los separadores de tipo rejilla. Este contacto prolongado puede pesar más que los beneficios de la mezcla mejorada lograda mediante los separadores de tipo rejilla con alas de flujo en situaciones particulares, incluyendo, por ejemplo, cuando la concentración de refrigerante en forma líquida alcanza fracciones muy bajas cerca de la salida del haz de combustible, donde los efectos secundarios de la "cuña" eliminan cualquier película de líquido de las superficies de las barras de combustible se hacen especialmente perjudiciales.

30 Por lo tanto, los haces de combustible de la realización de ejemplo utilizan separadores de tipo rejilla y separadores de tipo virola en posiciones que obtienen más ventajas de los efectos anteriormente reconocidos de la realización de ejemplo de los separadores de tipo rejilla y los separadores de tipo virola, y ofrecen una mejor transferencia de calor durante las condiciones de funcionamiento normales y transitorias.

35 La figura 4 es una ilustración de un ejemplo de realización del haz de combustible 100. Como se muestra en la figura 4, el haz 100 puede incluir varias características similares a las del haz de combustible 10 convencional, como se muestra en la figura 1, con las descripciones de las características redundantes omitidas. El haz de combustible 100 de la realización de ejemplo puede incluir varios separadores 120 de diferentes tipos, en base a la posición axial del separador 120 particular. Aunque la realización de ejemplo del haz de combustible 100 se muestra con dos separadores 120a y 120b, se entiende que cualquier número de separadores puede ser utilizado en los haces de combustible de las realizaciones de ejemplo.

40 Un separador 120a cerca de la entrada 101 del haz 100, donde es más probable que el refrigerante sea completamente líquido, puede ser una realización de ejemplo de separador de tipo rejilla 21 con aletas de mezcla o de flujo, como se muestra en la figura 2. El separador 120b más cerca de la salida 102 del haz 100, donde es más probable que el refrigerante sea vacío y gaseoso, puede ser una realización de ejemplo del separador 25 de tipo virola, como se muestra en la figura 3. De esta manera, el haz de combustible 100 ejemplo puede beneficiarse del aumento del líquido de mezcla de la realización de ejemplo del separador de tipo rejilla 120a y la geometría mejorada para reducir el desgarro de la película de líquido donde es más probable que exista el refrigerante en forma de líquido como película líquida sobre las superficies de las barras de combustible típicamente en posiciones del separador más cercanas a la salida del haz de combustible. Separadores intermedios y/o cualesquiera otros que no se muestran pueden ser separadores de tipo virola o de tipo rejilla, dependiendo de las características del refrigerante encontradas por el haz 100.

55 En base al reconocimiento de las propiedades de los separadores de combustible de tipo virola y de tipo rejilla mencionados anteriormente y la posición particular y las características del separador, las personas expertas en la

técnica pueden determinar el mejor tipo de separador para los separadores 120a, b, etc. del haz de combustible 100 de la realización de ejemplo. Por ejemplo, se puede realizar una prueba de ingeniería para simular las condiciones del refrigerante, incluyendo la velocidad de flujo del núcleo, la temperatura de entrada del refrigerante y la fracción de vacío, la temperatura del haz y los índices de generación de calor, los índices de transferencia de calor, etc. previstos para haces de combustible a través del núcleo y determinar qué mezcla de separadores del tipo de virola y separadores de tipo rejilla en posiciones particulares resulta en los mejores parámetros operativos, tales como la relación de potencia crítica, la salida de la ebullición nucleada, etc., del haz de combustible 100.

Alternativamente, puede utilizarse un programa de modelado conocido para simular escenarios operativos normal o transitorios para determinar qué mezcla de separadores de tipo virola y de tipo rejilla en posiciones particulares resultan en los mejores parámetros operativos del haz de combustible 100.

Alternativamente además, un ingeniero puede utilizar su experiencia y análisis de ingeniería para predecir las condiciones futuras del refrigerante, incluyendo la velocidad de flujo del núcleo, la temperatura del refrigerante de entrada y la fracción de vacío, la temperatura del haz y los índices de generación de calor, la transferencia de calor, etc. que se encontrarán en una posición del haz particular y en una posición axial dentro del haz. En base a estas propiedades del refrigerante, el ingeniero puede determinar qué mezcla de separadores de tipo virola y de tipo rejilla en posiciones particulares producen los mejores parámetros operativos, tales como la relación de potencia crítica, la salida de la ebullición nucleada, etc. del haz de combustible 100.

En resumen, en el diseño y en la fabricación de un haz de combustible del ejemplo de realización, el ingeniero puede determinar una respuesta al haz de combustible objetivo durante su funcionamiento, incluyendo operaciones normales y transitorias, determinar las características del refrigerante experimentadas durante estas operaciones, incluidas las características del refrigerante que pueden estar afectadas por el tipo de separador, y/o asignar un tipo de separador para cada posición del separador axial, sobre la base de los parámetros operativos deseados, las características del refrigerante, y las propiedades de los separadores descritas anteriormente. En base a los tipos y a las posiciones de los separadores determinados, puede diseñarse un ejemplo de realización de haces de combustible de acuerdo con las regulaciones actuales, procedimientos de diseño establecidos, y técnicas de fabricación conocidas.

**REIVINDICACIONES**

1. Haz de combustible nuclear (100) que comprende:

una pluralidad de barras de combustible (18,19) dispuestas en un canal en una dirección axial;

5 un separador de tipo rejilla (21) que se extiende el canal en una dirección transversal en una primera posición axial, pasando al menos una porción de las barras de combustible a través y alineadas por el separador de tipo rejilla; y

10 un separador de tipo virola (25) que se extiende en el canal en la dirección transversal en una segunda posición axial, siendo la primera posición axial más cercana a una entrada de refrigerante (101) del haz de combustible nuclear que la segunda posición axial, pasando al menos una porción de las barras de combustible a través y alineadas mediante el separador de tipo virola.

2. Haz de combustible nuclear (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que también comprende:

15 un tercer separador que se extiende en el canal en la dirección transversal a una tercera posición axial entre la segunda y la primera posiciones axiales, siendo el tercer separador uno de tipo virola (25) y de tipo rejilla (21), pasando al menos una porción de la barras de combustible (18, 19) a través y alineadas mediante el tercer separador.

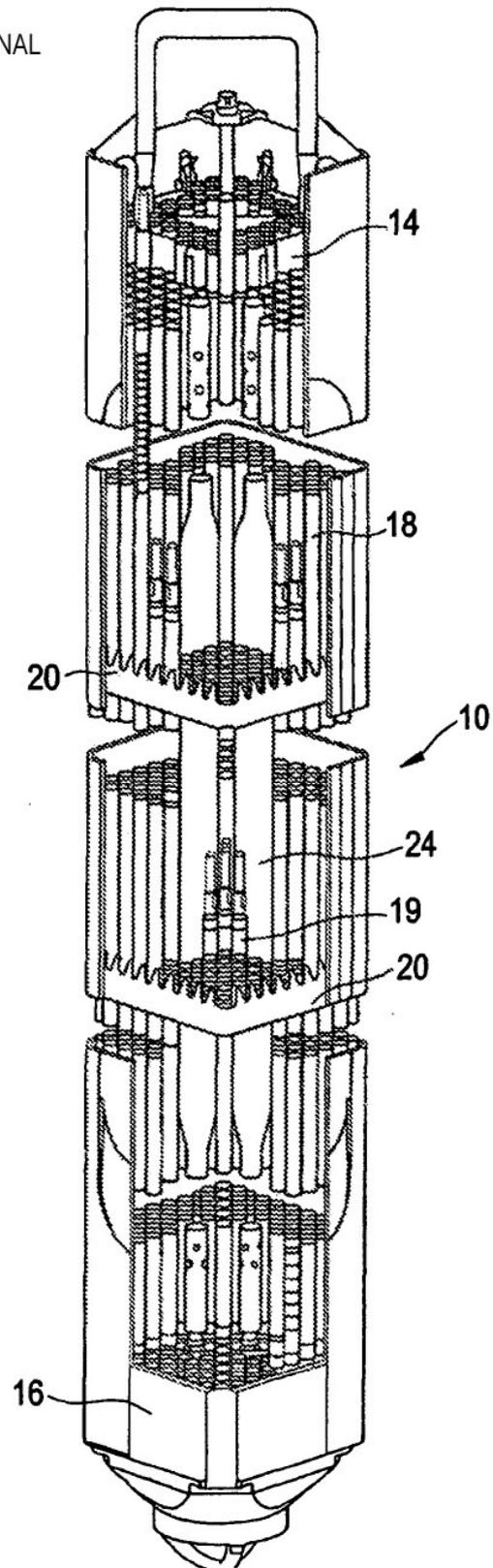
3. Haz de combustible nuclear (100) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el tercer separador es de un tipo seleccionado sobre la base de las características del refrigerante del haz de combustible.

4. Haz de combustible nuclear (100) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el tercera separador es un separador de tipo rejilla (21).

20 5. Haz de combustible nuclear (100) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el tercer separador es un separador de tipo virola (25).

# FIG. 1

TÉCNICA CONVENCIONAL



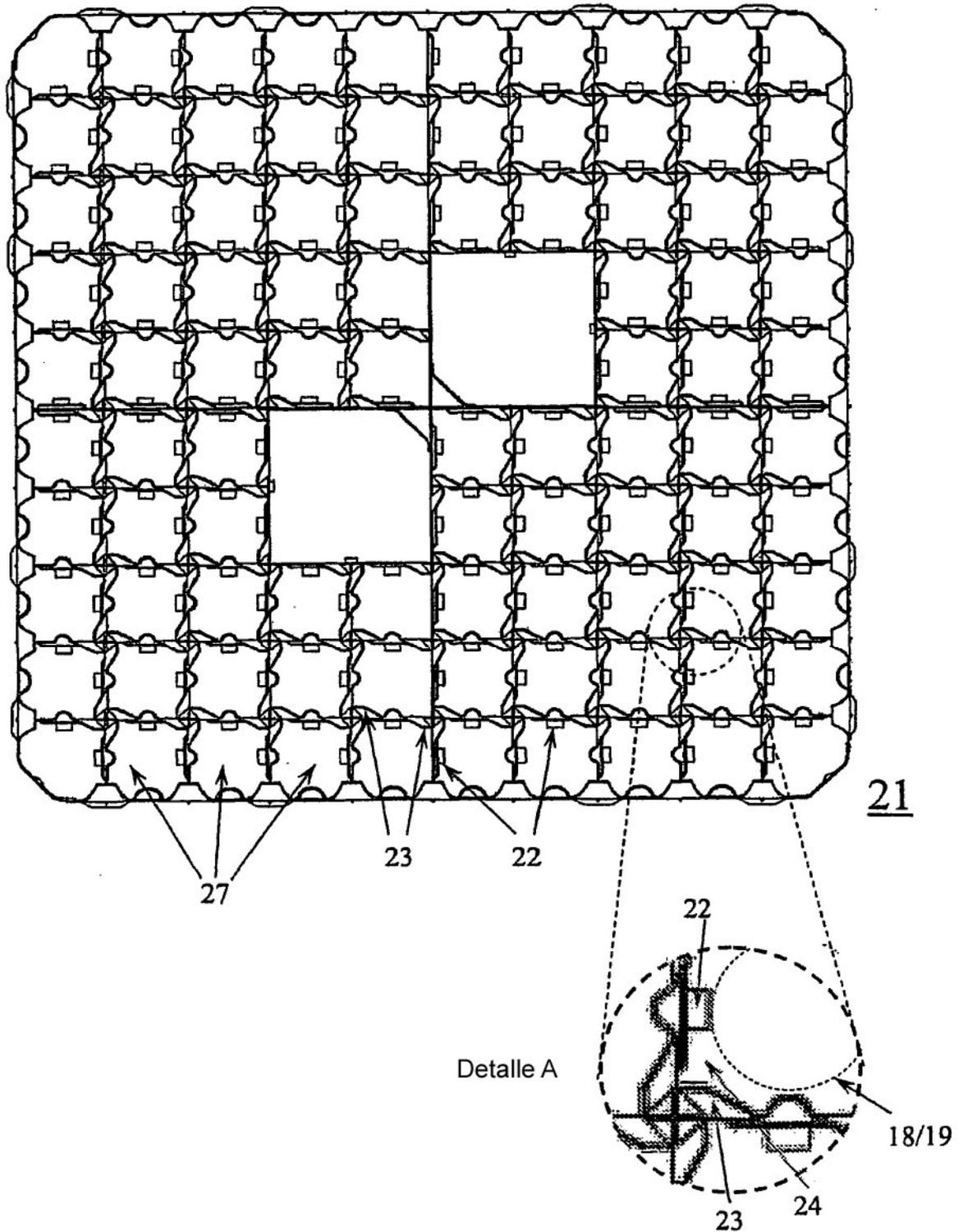


FIG. 2

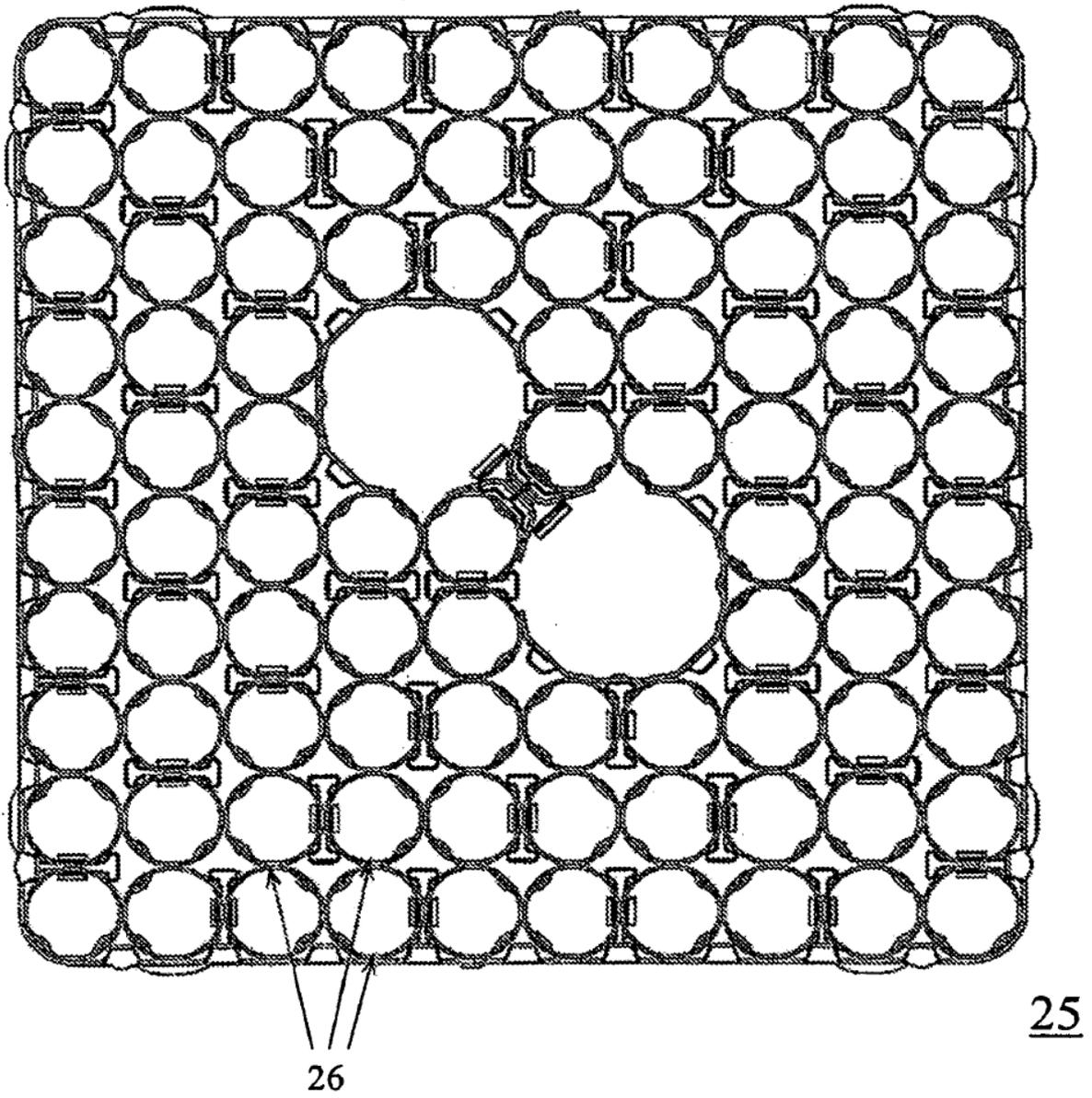


FIG. 3

FIG. 4

