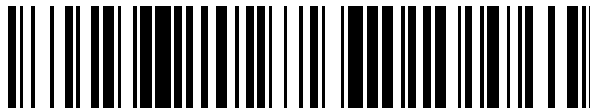


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 719**

51 Int. Cl.:

**G01V 99/00** (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2014 PCT/FR2014/050782**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.10.2014 WO14162095**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2014 E 14722254 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2017 EP 2981852**

54 Título: **Procedimiento de determinación de un modelo calibrado para un depósito subterráneo de fluido**

30 Prioridad:

**05.04.2013 FR 1353066**

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

**30.10.2017**

73 Titular/es:

**STORENGY (100.0%)  
12 rue Raoul Nordling  
92270 Bois Colombes, FR**

72 Inventor/es:

**HUGUET, FRÉDÉRIC**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 639 719 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 de determinación de un modelo calibrado para un depósito subterráneo de fluido.

### 5 **Campo técnico**

La presente divulgación se inscribe en los campos de la exploración y la explotación de los depósitos de fluidos compresibles, en particular de los hidrocarburos. El depósito puede ser un yacimiento natural en medio poroso, un yacimiento de gas de esquisto ("shale gas") o un almacenamiento artificial como, por ejemplo, almacenamientos en acuíferos o en yacimientos agotados.

La explotación de un depósito de este tipo necesita ser capaz de prever su funcionamiento y sus prestaciones futuras, en términos de volúmenes o de caudales.

15 Ahora bien, los conocimientos de la estructura del depósito y de su comportamiento con respecto al fluido son limitados. Proviene, en un primer momento, de perforaciones realizadas en número limitado y de datos de imágenes sísmicas, que sólo ofrecen un conocimiento parcial del depósito. En un segundo momento, provienen de mediciones de producción realizadas por pozos de explotación o de vigilancia del depósito, tales como el caudal de fluido, la presión del depósito, la producción de agua o la posición de las interfaces de los fluidos.

20 Para entender y modelizar el depósito, los geólogos pueden utilizar mapas de propiedades que representan, por ejemplo, en un plano horizontal, una propiedad tal como la profundidad del depósito, su espesor, su porosidad o su permeabilidad. Cada mapa presenta entonces una única propiedad representada por una intensidad de grises o un código de color. Para dar cuenta de los diferentes aspectos del depósito, se utiliza un modelo compuesto de varios mapas que representan cada uno de ellos una propiedad local diferente así como otros parámetros que representan unas propiedades globales.

En el caso de un depósito de simetría de revolución alrededor de un eje vertical -se habla de geometría radial- es posible utilizar unos gráficos que presentan, en función de la coordenada radial, varias propiedades como, por ejemplo, el espesor, la porosidad y la permeabilidad. Estas informaciones pueden estar representadas por unas curvas o unos códigos de color o unas intensidades de grises. En los dos casos en los que se utiliza un gráfico en el marco de una modelización radial o un mapa de dos dimensiones, la o las representaciones gráficas utilizadas constituyen, eventualmente con otros parámetros digitales no ilustrados en la representación gráfica, un modelo del depósito.

35 El modelo de depósito debe ser el objeto de un procedimiento de calibrado teniendo en cuenta las mediciones de producción. Esto implica modificar los parámetros digitales así como los mapas o gráficos, partiendo de realizaciones previsible, pero naturalmente, cuanto más sofisticado es el modelo, más elevado es el número de elementos que se deben optimizar y más delicada es la operación de calibrado, a la vez a causa del tiempo y de los medios de cálculo necesarios y de los riesgos de ausencia de convergencia o de convergencia hacia una solución errónea.

Se conoce, por ejemplo, un procedimiento descrito en el documento WO 2004/086280 para formar un modelo por una selección de realizaciones y unas deformaciones graduales. Este procedimiento no permite, en las diferentes etapas de selección, un control del geólogo y, por tanto, es susceptible, en ciertas situaciones, de llevar a cabo soluciones no realistas.

En el documento US 2012/0232865 A, se forma una biblioteca de realizaciones estocásticas de un depósito, se mapean estas realizaciones en un espacio de características y se clasifican los resultados de una simulación física para las realizaciones representativas de cada clase.

### **Definición de la invención y ventajas asociadas**

Para superar estas dificultades y obtener ventajas que se aparecerán en la presente divulgación, se propone un procedimiento según la reivindicación 1.

60 Gracias a estas características se permite un control por el técnico de la validez del modelo calibrado en el curso del proceso, así como una mejora de la convergencia, llevándose a cabo la optimización en el espacio de las clases que es de dimensión más pequeña que la de los modelos o las representaciones gráficas, ofreciendo al mismo tiempo la posibilidad de que el técnico integre en el proceso unas representaciones gráficas de origen variado. Eventualmente, el procedimiento comprende además una etapa de extracción de un atributo para representaciones gráficas de la biblioteca, haciéndose la clasificación sobre la base de por lo menos el atributo.

Los principios divulgados se describirán ahora con relación a las figuras cuya lista se da a continuación.

65

**Lista de figuras**

- La figura 1 representa un almacenamiento de gas natural.
- La figura 2 presenta un mapa tal como el utilizado en un ejemplo de realización.
- 5 La figura 3 presenta las principales etapas de un ejemplo.
- La figura 4 presenta un aspecto de otro ejemplo.
- La figura 5 presenta un gráfico tal como el utilizado en otro ejemplo.
- La figura 6 presenta un aspecto de un ejemplo que utiliza el gráfico de la figura 5.
- La figura 7 presenta otro ejemplo.
- 10 La figura 8 presenta todavía otro ejemplo.

**Descripción detallada de la invención**

- 15 En la figura 1 se ha representado un almacenamiento que constituye un depósito por el cual se interesa la presente divulgación. Comprende un depósito 1 y se ha representado el pozo de yacimiento 2 que permite, a través de un colector, medir una presión de yacimiento, así como el pozo de explotación 3, por el cual circula un fluido entrante o saliente. La estructura interna y las propiedades internas del depósito no son conocidas, puesto que sólo algunas informaciones, como se ha mencionado anteriormente, están disponibles para el geólogo.
- 20 En la figura 2 se ha representado una representación gráfica, en este caso un mapa 10 que constituye, con algunos parámetros P1, P2, P3 y P4, una forma de realización posible del depósito 1. El mapa 10 es un diagrama que representa un plano x, y de sección horizontal, y representa una propiedad del depósito por un código de color aplicado en cada punto. La propiedad, en el ejemplo elegido, es la porosidad, pero se podrían elegir, por ejemplo, la permeabilidad, la altura, la facies geológica o la profundidad.
- 25 El mapa se ha generado en este caso de manera automática, por ordenador, sin intervención de un especialista geólogo, para tener un nivel mínimo de compatibilidad con los conocimientos geológicos CG disponibles con respecto al depósito 1.
- 30 Se obtiene por simulación geoestadística, por modelización estocástica no geoestadística o por interpretación determinista.
- En la figura 3 se ha representado un esquema que ilustra las etapas de un ejemplo de realización de la invención.
- 35 Sobre la base de los conocimientos geológicos CG de un depósito, una biblioteca 100 formada por un gran número de mapas del depósito es generada por ordenador en el curso de una etapa S100. En el seno de la biblioteca, se obtienen los mapas, todos, por simulaciones geoestadísticas, todos por modelización estocástica no geoestadística o todos por interpretación determinista o incluso, algunos, por un primero de estos procedimientos y otros por un segundo de estos procedimientos y, eventualmente todavía, algunos por la tercera de estas familias de procedimientos. Cada mapa de la biblioteca 100 presenta una misma propiedad del depósito en cada punto. La propiedad, en el ejemplo elegido, es la porosidad.
- 40 Cada mapa difiere de los otros mapas de la biblioteca, ya que se han generado utilizando simulaciones geoestadísticas distintas. No obstante, respetan todos, como mínimo, los conocimientos geológicos CG disponibles para el depósito.
- 45 Cada mapa puede aplicarse a uno o varios atributos calculados a partir del mapa o extraídos de éste. Así, para mapas de profundidad, la superficie, la forma o el volumen de la superficie cerrada, extraídos del mapa, se pueden utilizar como atributo para la realización. Para otros mapas o para los mismos mapas de profundidad, un vector constituido por valores de la propiedad representada en los nudos de una rejilla se puede utilizar como atributo de mapa.
- 50 En el curso de una etapa S200, se definen unas clases de mapas y se clasifican en estas clases las realizaciones de la biblioteca 100. Las clases son señaladas por dos índices que son unos números enteros i y j y, por tanto, se puede representar el conjunto de las clases organizado en forma de una tabla de dos entradas, de dimensiones n y m. Todos los mapas están vinculados a una clase, lo cual está representado en la figura por su colocación en unas casillas ordenadas en dos dimensiones que representan las clases. La etapa de clasificación S200 se efectúa con una técnica de clasificación topológica autoorganizativa tal como los mapas autoorganizativos de Kohonen (SOM por "Self organizing map" en inglés) o GTM ("Generative Topographic Mapping" en inglés). Gracias a este procedimiento, se puede calcular una distancia entre cada clase, en base, en el caso ilustrado en la presente memoria, a los índices i y j.
- 55 Las clases están organizadas en por lo menos una dimensión y en este caso lo están en dos dimensiones. Pueden estarlo en más de dos dimensiones.
- 60
- 65

- 5 En cada clase, se determina un mapa representativo. Puede tratarse de uno de los mapas clasificados en la clase, por ejemplo el que está más próximo a un baricentro de los mapas de la clase, o de un mapa determinado sobre la base de los mapas de la clase como, por ejemplo, un mapa medio calculado según el conjunto de los mapas de la clase o según una selección de estos, descartándose los mapas más alejados del baricentro para el cálculo del mapa medio.
- 10 En este estadio, una visualización en la pantalla de los mapas representativos para las  $n$  veces  $m$  clases permite que un geólogo descarte clases que no serían realistas en vista de la experiencia del experto, referentes a las propiedades corrientes de los depósitos o a las propiedades particulares del depósito estudiado. Las clases descartadas son sustituidas con ayuda de una nueva aplicación del procedimiento de clasificación S200 en una biblioteca que comprende todos los mapas iniciales con la excepción de los mapas de la clase suprimida. Por tanto, las clases son refundadas, los mapas no eliminados son redistribuidos en nuevas clases y una nueva visualización en la pantalla permite que el geólogo juzgue la pertinencia de los mapas representativos de las clases que le son propuestas, hasta que cada una de entre ellas sea razonablemente realista y se pueda conservar para la etapa siguiente.
- 15 En el curso de una etapa S300, una función objetivo, calculada para cada clase con ayuda del mapa representativo correspondiente, es optimizada en el espacio de las clases, es decir, el espacio de los pares  $i, j$ .
- 20 El procedimiento de optimización puede utilizar como variable las coordenadas enteras y discretas de clases en el espacio  $i, j$ . No obstante, en una variante, está previsto determinar unos mapas intermedios entre varias clases próximas al espacio  $i, j$  de manera continua, obteniéndose los mapas intermedios por interpolación de los mapas próximos con diferentes ponderaciones elegidas para optimizar finalmente la función objetivo.
- 25 La función objetivo se construye para medir la calidad del calibrado, es decir, la capacidad del mapa elegido, que está llamada a constituir el modelo o un elemento del modelo de depósito, para dar cuenta de unas mediciones de explotación ME, como la presión en el pozo en función del tiempo o el caudal de agua en los pozos en función del tiempo. La función objetivo es optimizada en un proceso realizado por un resolvidor que tiene en cuenta particularmente la calidad de reproducción de los balances de material constatados en el curso de la explotación del depósito. Se pueden realizar diferentes procedimientos de optimización digital.
- 30 En una variante, se calcula la función objetivo, no sólo según las variables  $i, j$ , sino también según los valores que pueden ser tomados por uno o varios parámetros P1, P2, P3 o P4 tales como los mencionados en relación con la figura 2. Esta variante está representada en la figura 4 donde se calcula la función objetivo sobre la base de 15 parámetros que son unos números reales independientes de los mapas, es decir, no dependientes directamente de los mapas, y de las coordenadas  $i, j$  de las clases de mapas organizadas como se ha presentado anteriormente. La función objetivo es la minimización de la suma de las dos funciones, a saber Dpg y Dzrio. Así, la función objetivo se minimiza sobre 17 parámetros.
- 35 En la figura 5 se ha ilustrado la representación gráfica de un modelo radial, como se ha mencionado anteriormente. Se trata de un gráfico donde el eje de abscisas presenta la coordenada radial alrededor de un eje vertical, considerándose que el depósito posee una geometría de revolución alrededor de este eje. Se presentan diversas informaciones en este gráfico mediante unas curvas y unos códigos de color.
- 40 Se pueden utilizar mapas de coordenadas polares (radio azimut).
- 45 En la figura 6 se ha representado una clasificación de una biblioteca de gráficos tales como los ilustrados en la figura 5. Se representa en la presente memoria, por simplificación, para cada clase, únicamente un solo gráfico representativo elegido o calculado como se ha presentado anteriormente para los mapas representativos de clases. No obstante, como anteriormente, cada clase comprende numerosos gráficos. Las clases están organizadas según dos ejes y se puede calcular una distancia entre dos clases con la ayuda de las coordenadas de la clase sobre los dos ejes.
- 50 En la figura 7 se ha representado un aspecto de una variante de realización que implica varios mapas de propiedades como el representado en la figura 2. En este ejemplo, se generan independientemente varias bibliotecas de mapas, presentando los mapas de cada biblioteca una propiedad dada. Se efectúan independientemente unas clasificaciones de cada biblioteca ordenadas según dos dimensiones y después el geólogo puede visualizar los mapas representativos de las clases, presentados en dos dimensiones. Así, en la figura 7 se han representado los mapas representativos de las clases ordenadas para una biblioteca de mapas de la propiedad HT (altura total), los mapas representativos de las clases ordenadas para una biblioteca de mapas de la propiedad HU (altura útil) y los mapas representativos de las clases ordenadas para una biblioteca de mapas de la propiedad PHIU (porosidad útil).
- 55 Y lo que es más, se estudian en el caso presentado en la figura 6 dos zonas o niveles de depósito (o profundidades de depósito medidas a partir de la superficie del suelo). Estos dos niveles de depósito están designados R1B y R1C. Por tanto, están preparadas dos bibliotecas para cada propiedad, representando los
- 60
- 65

mapas de la primera biblioteca la propiedad de la profundidad del nivel R1B, y representando los mapas de la segunda biblioteca la propiedad de la profundidad R1C. El número de profundidades puede ser naturalmente superior a dos y en este caso hay tantas bibliotecas por propiedad como profundidades estudiadas.

5 Cada una de las bibliotecas, independientemente de las otras, es objeto de una clasificación organizada sobre dos ejes  $i,j$  y los mapas representativos de las clases pueden ser visualizados por un geólogo para eliminar las clases no realistas. Una función objetivo que toma como variables las coordenadas  $i,j$  de cada una de las clasificaciones de bibliotecas de mapas, o sea seis pares  $i,j$  en la figura 6, es optimizada a continuación para  
10 determinar mapas, extraídos o calculados a partir de los mapas representativos de las clases para cada clasificación de biblioteca.

La realización de depósito considerada para modelizar éste es a continuación una combinación de los mapas tomados. La combinación de los mapas de dos niveles de depósito diferentes es una yuxtaposición, mientras que  
15 la combinación de los mapas de dos propiedades diferentes para un mismo nivel de depósito es una superposición de los mapas.

Como se ha mencionado anteriormente, se pueden utilizar también como variables de la función objetivo unos parámetros digitales P1, P2, P3 y P4 no representados en los mapas, y se puede minimizar esta función objetivo haciendo variar no solo los pares  $i,j$  de coordenadas de clases en las clasificaciones de mapas, sino también los  
20 parámetros P1, P2 ... P4. Así, en la figura 8 se ha representado el proceso de optimización que utiliza seis bibliotecas de mapas clasificados y 15 parámetros fuera de los mapas, lo cual define un conjunto de 21 parámetros que se debe hacer variar para optimizar la función objetivo.

La optimización de la función objetivo se realiza, en una variante, imponiendo una correlación mínima entre por lo  
25 menos dos propiedades diferentes del depósito, por ejemplo las propiedades HU y PHIU de la figura 7.

La invención no se limita a los modos de realización descritos, sino que se extiende a todas las variantes en el marco del alcance de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de determinación de un modelo calibrado para un depósito subterráneo de fluido que comprende,
- una etapa de generación (S100) de una biblioteca (100) de representaciones gráficas que describen el depósito para unas realizaciones diferentes de éste,
  - una etapa de clasificación (S200) de las representaciones gráficas de la biblioteca en un espacio (200) de clases organizadas según por lo menos una dimensión,
  - y una etapa de optimización (S300) de una función objetivo por lo menos en dicho espacio de clases, para determinar una realización (300) del depósito calibrado según unas mediciones de explotación (ME),
- 10 15 caracterizado por que la etapa de clasificación es una etapa de clasificación autoorganizativa.
- 20 2. Procedimiento de determinación según la reivindicación 1, que comprende además una etapa de extracción de un atributo para unas representaciones gráficas de la biblioteca, realizándose la clasificación sobre la base de por lo menos el atributo.
- 25 3. Procedimiento de determinación según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la optimización se realiza calculando la función objetivo para una clase mediante la utilización de una representación gráfica representativa de la clase.
- 30 4. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que, entre la etapa de clasificación y la etapa de optimización, se ofrece a un operador la posibilidad de eliminar una o varias clases que aparecen como no realistas mediante observación visual de por lo menos una representación gráfica representativa de cada clase.
- 35 5. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la clasificación se efectúa según dos dimensiones o según más de dos dimensiones.
- 40 6. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se optimiza la función objetivo según uno o varios parámetros que son unos números reales no dependientes directamente de los mapas, y según unas coordenadas de las clases de mapas según la por lo menos una dimensión.
- 45 7. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que se generan varias bibliotecas de representaciones gráficas, siendo las representaciones gráficas de cada biblioteca objeto, independientemente, de clasificaciones autoorganizativas en unos espacios de clases respectivos, y optimizándose la función objetivo en unos espacios de clases respectivos, utilizándose para la determinación de la realización calibrada una combinación de representaciones gráficas representativas de las clases que optimizan la función.
- 50 8. Procedimiento de determinación según la reivindicación 7, en el que se generan unas bibliotecas de representaciones gráficas referentes a unas zonas distintas del depósito, optimizándose la función objetivo en los espacios de clases que comprenden dichas bibliotecas.
- 55 9. Procedimiento de determinación según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el que se generan unas bibliotecas de representaciones gráficas que se refieren a unas propiedades distintas del depósito, optimizándose la función objetivo en los espacios de clases que comprenden dichas bibliotecas.
- 60 10. Procedimiento de determinación según la reivindicación 9, en el que la optimización de la función objetivo se realiza imponiendo una correlación mínima entre por lo menos dos propiedades diferentes del depósito descritas en dos bibliotecas diferentes.
- 65 11. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que las representaciones gráficas comprenden unos mapas que representan una propiedad en un plano del depósito.
12. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que las representaciones gráficas comprenden unas representaciones de por lo menos una propiedad a lo largo de un radio del depósito, considerándose que éste tiene una simetría de revolución alrededor de un eje vertical.
13. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la optimización se realiza según unas coordenadas discretas de las clases.
14. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la optimización se

realiza según unas coordenadas continuas en el espacio de las clases, interpolando unas representaciones gráficas representativas de las clases.

5 15. Procedimiento de determinación según la reivindicación 1 a 14, con una biblioteca que comprende por lo menos unos mapas obtenidos por simulaciones geoestadísticas, unos mapas obtenidos por modelización estocástica no geoestadística, o por lo menos unos mapas obtenidos por interpretación determinista, o por lo menos unos mapas obtenidos por un primero de estos procedimientos y unos mapas obtenidos por un segundo de estos procedimientos, o por lo menos unos mapas obtenidos por respectivamente cada uno de los tres procedimientos.

10 16. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones 1 a 15, comprendiendo la propiedad la porosidad, la permeabilidad, la altura, la profundidad o la facies geológica.

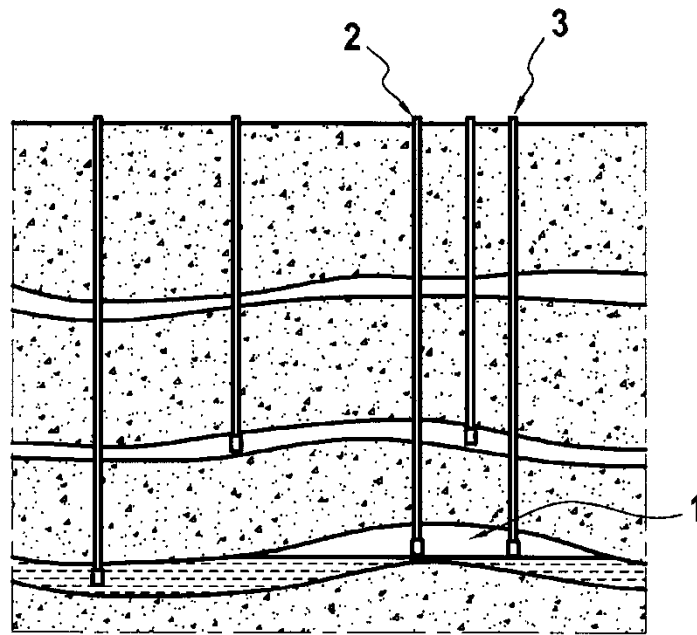


FIG.1

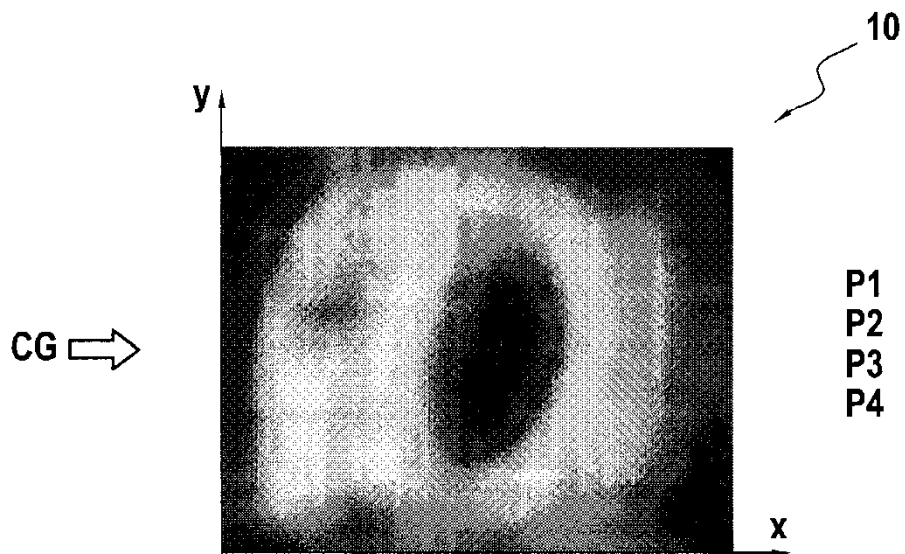


FIG.2



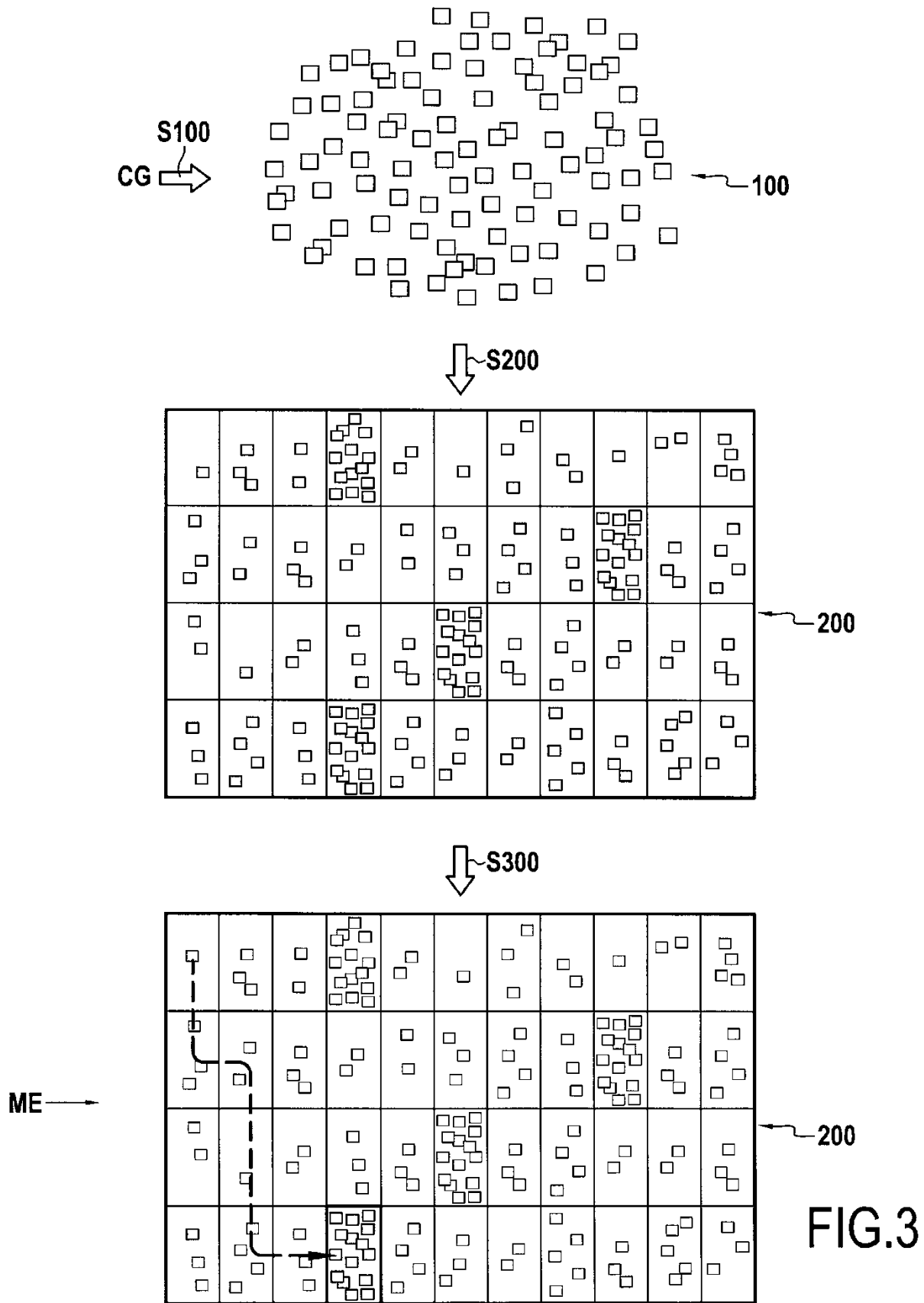
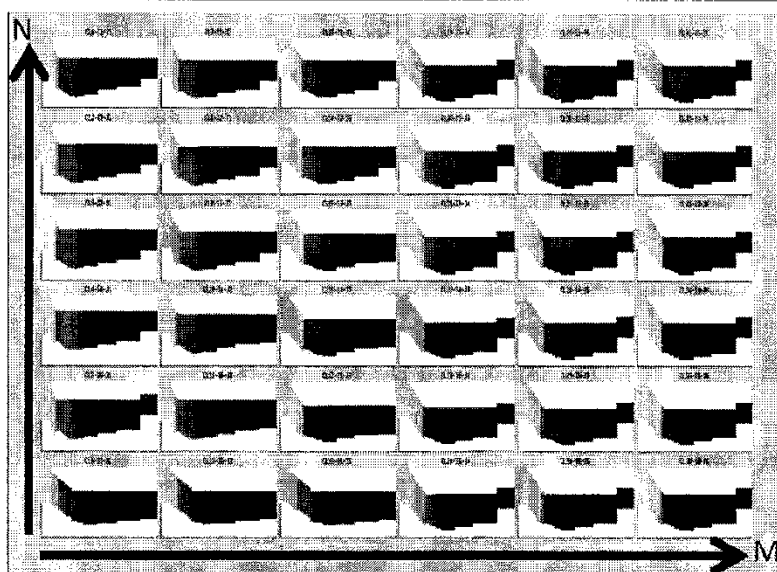
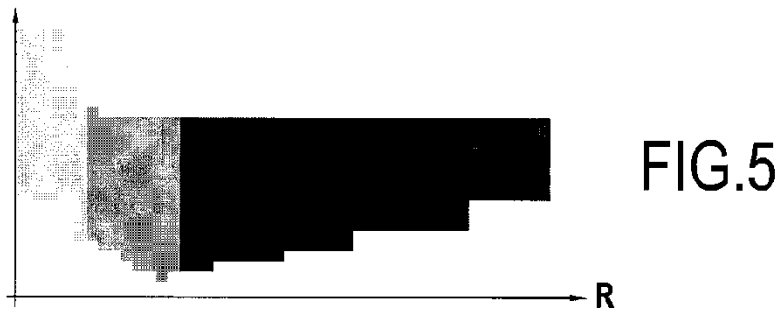
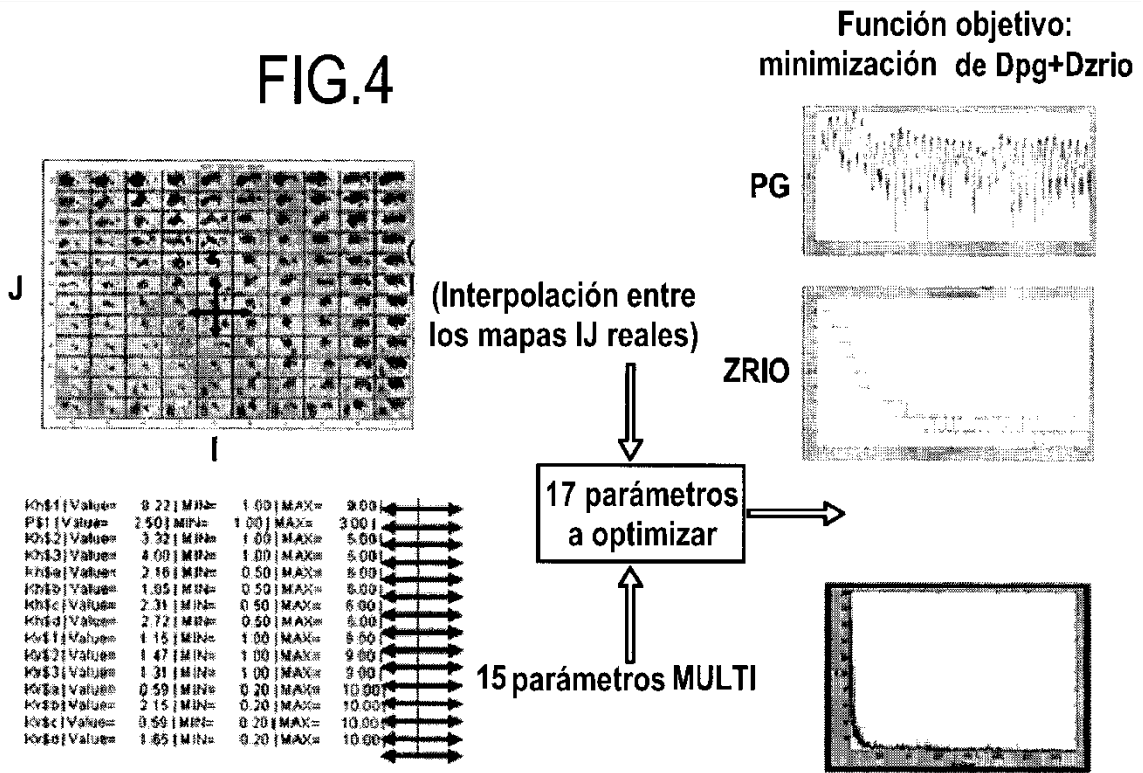


FIG.3

FIG.4



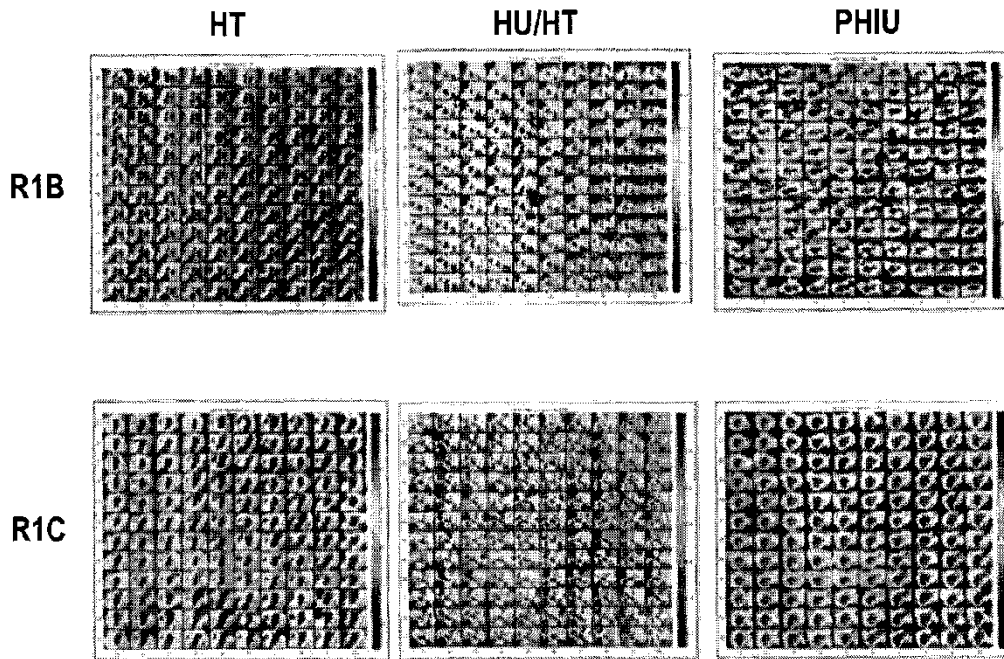


FIG.7

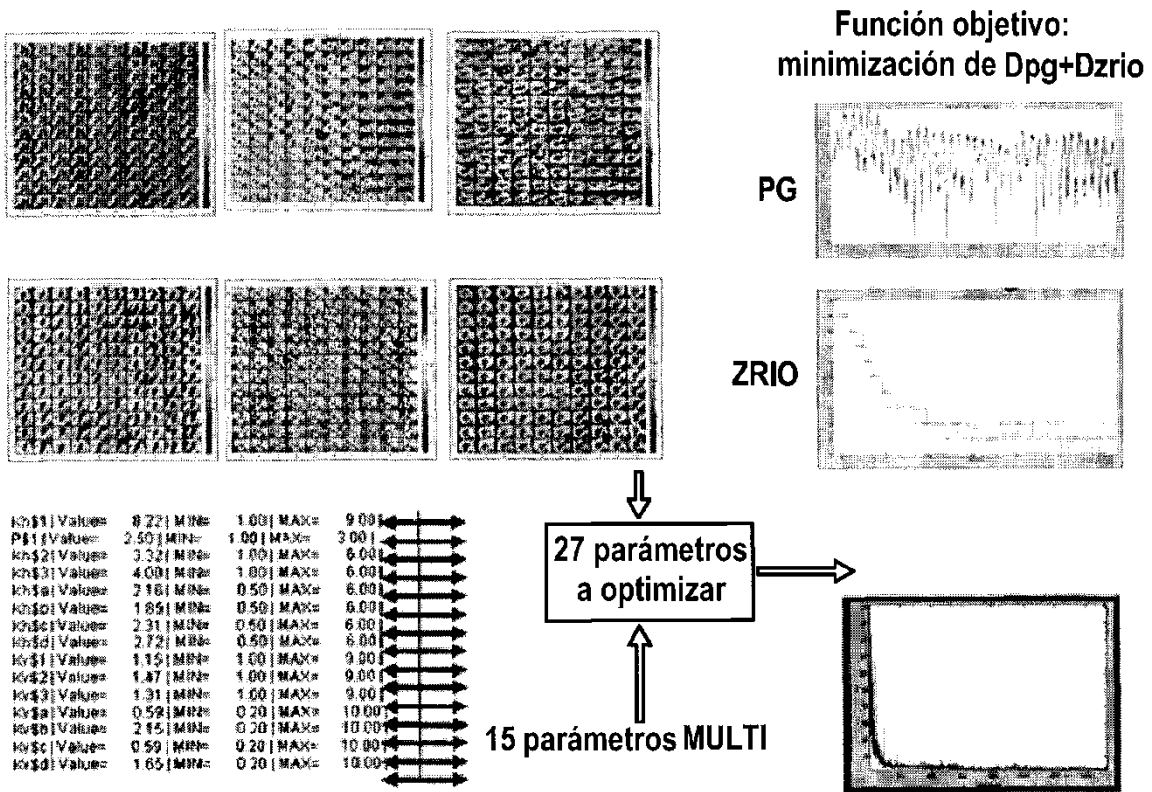


FIG.8