

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 842**

51 Int. Cl.:

G01V 1/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2012 E 12154659 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015 EP 2487511**

54 Título: **Procedimiento de estudio sísmico del subsuelo**

30 Prioridad:

10.02.2011 IT MI20110197

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

27.07.2015

73 Titular/es:

**ENI S.P.A. (100.0%)
Piazzale E. Mattei, 1
00144 Rome, IT**

72 Inventor/es:

**ANDREOLETTI, CLARA y
BIENATI, NICOLA**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 541 842 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 estudio sísmico del subsuelo.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de estudio sísmico del subsuelo y, más específicamente, a un procedimiento de estudio del subsuelo que utiliza unos datos obtenidos a partir de respuestas sísmicas generadas a partir de diversas fuentes sísmicas.

10 Con el fin de identificar estructuras geológicas en el subsuelo, en particular posibles trampas de hidrocarburos, se conoce realizar las denominadas campañas de adquisición sísmica, en las que se utilizan ondas sísmicas para realizar mediciones de tipo no invasivo. En una campaña de adquisición sísmica, se generan unas ondas sísmicas por medio de fuentes artificiales que se pueden obtener con explosivos, dispositivos mecánicos vibratorios, cañones de aire o con cualquier otro dispositivo adecuado para generar ondas sísmicas.

15 Se colocan unas fuentes de ondas sísmicas en múltiples posiciones sobre la superficie de la tierra o el mar, encima de la zona que se va a estudiar. Se activan estas fuentes para generar unas ondas sísmicas que se propagan en profundidad, alejándose de las mismas fuentes, hacia unas estructuras geológicas en el subsuelo. Durante la propagación, las ondas también se reflejan parcialmente hacia la superficie por parte de las estructuras que se van a estudiar. Una vez que alcanzan la superficie, se detectan las ondas sísmicas reflejadas y se transforman en señales eléctricas mediante unos sensores específicos (geófonos o hidrófonos) y después se registran. Los sensores están situados sobre la superficie en unas configuraciones adecuadas. La posición de los sensores también puede variar con una variación en la posición de la fuente de ondas sísmicas.

25 Para campañas de adquisición sísmica en alta mar, se utiliza el denominado "buque sísmico". El buque remolca la fuente sísmica, sumergida en el agua, y una serie de cables, también sumergidos, a lo largo de los cuales se disponen los sensores. Se obtienen posibles variantes de este esquema utilizando diversos buques simultáneamente, lo que conlleva cables y/o fuentes adicionales. Se obtienen diferentes registros activando la fuente de ondas sísmicas en diferentes posiciones a lo largo de la línea de navegación y registrando los datos para todos los sensores y durante un tiempo finito tras cada activación. La línea de navegación se proyecta adecuadamente para garantizar la cobertura de toda la zona que se va a estudiar. La combinación de todos los datos registrados para la misma posición de la fuente forma el denominado registro sísmico o "recopilación de tiros".

35 Posteriormente se procesan las señales registradas durante la campaña de adquisición sísmica para obtener información referente a la estructura y a las características del subsuelo. La expresión "migración sísmica" se refiere en particular al procedimiento de tratamiento que permite obtener imágenes de profundidad de las superficies de separación entre diferentes capas rocosas partiendo de los datos sísmicos. La migración se aplica a las recopilaciones de tiros individuales, produciendo una imagen volumétrica del subsuelo para cada recopilación de tiros. Por tanto, las recopilaciones de tiros se procesan individualmente y la imagen final se obtiene sumando las imágenes parciales producidas por la migración de cada recopilación de tiros individual.

40 Una de las desventajas de este tipo de estudio sísmico se debe al hecho de que, con el fin de obtener un estudio del subsuelo preciso mediante la migración de cada recopilación de tiros individual, se deben sumar numerosas imágenes parciales. De esta manera, el coste del estudio sísmico aumenta en proporción al número de recopilaciones de tiros que se deben migrar.

45 Además, se debe indicar que la complejidad de cálculo debida a la migración de cada recopilación de tiros individual no es despreciable, de modo que, con el fin de disponer de tiempos de operación razonables, considerando la migración de un denominado "conjunto de datos sísmicos" de dimensiones industriales (es decir que contiene decenas o cientos de miles de recopilaciones de tiros), se deben utilizar numerosos superordenadores que ejecutan operaciones en paralelo.

50 Con el fin de hacer que el procedimiento de estudio sísmico sea más eficaz, se pueden sumar diversas recopilaciones de tiros antes de su migración. Sin embargo, de esta manera se pone en peligro la precisión de la imagen final del subsuelo ya que la operación de migración de la suma de las recopilaciones de tiros es diferente de la operación de suma de las migraciones de cada recopilación de tiros y, además, introduce interferencias en la propia imagen final.

55 Los documentos US 2006133208 y US nº 6.002.642 describen unos procedimientos de migración sísmica para crear imágenes de la estructura geológica.

60 Por tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de estudio del subsuelo y, más específicamente, un procedimiento de estudio del subsuelo que utiliza los datos obtenidos a partir de las respuestas sísmicas generadas por diversas fuentes sísmicas, que puede superar los inconvenientes de la técnica conocida mencionados anteriormente, de una manera extremadamente sencilla, económica y particularmente funcional.

65 Más específicamente, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de estudio sísmico del

subsuelo que es particularmente rápido y económico con respecto a procedimientos de estudio sísmico actuales.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de estudio sísmico que, aunque realiza la suma de diversas recopilaciones de tiros antes de su migración, puede proporcionar una imagen volumétrica particularmente precisa del subsuelo, reduciendo la intensidad de las interferencias que se generan con los procedimientos actuales.

Estos objetivos según la presente invención se logran proporcionando un procedimiento de estudio sísmico del subsuelo tal como se especifica en la reivindicación 1.

En las reivindicaciones dependientes, que son una parte integrante de la presente descripción, se indican unas características adicionales de la invención.

Las características y ventajas de un procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención aparecerán más evidentes a partir de la siguiente descripción ilustrativa y no limitativa, haciendo referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista esquemática de un denominado "buque sísmico" y el equipo relativo que realiza el procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención;

la figura 2 es una vista esquemática que ilustra las relaciones geométricas entre grupos de fuentes sísmicas basándose en el procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención;

la figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra las etapas principales del procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención; y

las figuras 4 a 6 son unos diagramas de bloques que ilustran en más detalle algunas subetapas del procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención.

Con referencia en particular a la figura 1, ésta muestra un buque sísmico y el equipo relativo que permite realizar el procedimiento de estudio sísmico del subsuelo, en particular debajo del fondo del mar, según la presente invención. Durante una adquisición sísmica marina, el buque 10 sísmico remolca detrás del mismo, sumergida en el agua, una fuente sísmica 12, que consiste por ejemplo en un cañón de aire u otros generadores de ondas acústicas, y uno o más cables 14. Se disponen unos sensores sísmicos 16, en particular hidrófonos, a lo largo de cada cable 14. La longitud de los cables 14 y la distancia entre los hidrófonos 16 son unos parámetros establecidos basándose en los objetivos del estudio sísmico.

Los cables 14 se extienden a lo largo de la línea de navegación del buque 10 y se dirigen eventualmente mediante la utilización de dispositivos de direccionamiento adecuados (no mostrados). Durante la misma campaña de adquisición sísmica, también se puede utilizar más de un buque, que se mueven en coordinación, remolcando fuentes sísmicas 12 y/o cables 14 adicionales equipados con sensores 16 relativos. En otros casos, los cables 14 no son remolcados sino que se disponen a lo largo del fondo 18 del mar antes de iniciar la campaña de adquisición sísmica.

La fuente sísmica 12, remolcada por el buque 10, por medio de un dispositivo neumático genera una onda sísmica que se propaga en el agua y, desde ahí, a través del fondo 18 del mar, al interior del subsuelo. Las estructuras 20 geológicas presentes en el subsuelo reflejan parcialmente la onda sísmica. Así se generan unas ondas reflejadas que se propagan de vuelta hacia la superficie. Los hidrófonos 16 reciben las reflexiones procedentes del subsuelo y las traducen en señales eléctricas que se transmiten al buque 10. Entonces se digitalizan estas señales eléctricas y se registran.

A medida que se mueve a lo largo de su línea de navegación, el buque 10 activa la fuente sísmica 12 a intervalos de tiempo regulares. La fuente sísmica 12 es de tipo impulsivo y las reflexiones de las ondas sísmicas se registran durante un tiempo finito tras cada activación de la propia fuente sísmica 12. La señal registrada por un único hidrófono 16 para una determinada posición de la fuente sísmica 12 se denomina traza. La colección de todas las trazas registradas para la misma posición de activación de la fuente sísmica 12 forma una recopilación de tiros. La combinación de todas las recopilaciones de tiros registradas encima de la zona objeto del estudio forma el conjunto de datos sísmicos.

Cada recopilación de tiros individual registrada se convierte posteriormente en una imagen volumétrica parcial de la estructura 20 geológica de interés. La imagen global de la estructura 20 geológica de interés se obtiene sumando las imágenes parciales individuales. El tratamiento numérico que convierte una recopilación de tiros en una imagen se denomina migración sísmica.

Debido a la ubicación de una fuente sísmica 12 y a la recopilación de tiros relativa, la migración sísmica focaliza cada reflexión registrada en la recopilación de tiros en el punto correspondiente del subsuelo en el que se originó la

misma reflexión. De esta manera, se obtiene una imagen de todos los puntos de reflexión, es decir una imagen de las estructuras 20 geológicas encontradas por el frente de onda sísmica durante su propagación en el subsuelo.

La focalización de las reflexiones se obtiene en tres etapas subsiguientes:

- 5 1. Modelar numéricamente la propagación de la onda generada por la fuente sísmica 12. De esta manera, en relación con la posición \mathbf{x}_i de la fuente sísmica 12, se obtiene un primer campo de ondas $S_i(\mathbf{x}, t) = \mathbf{S}_i(t)$ en cada punto $\mathbf{x} = (x, y, z)$ de la imagen y para todos los tiempos $t, 0 \leq t \leq T$;
- 10 2. Retropropagar en profundidad las reflexiones registradas por los hidrófonos 16. El resultado es un segundo campo de ondas $R_i(\mathbf{x}, t) = \mathbf{R}_i(t)$ en cada punto $\mathbf{x} = (x, y, z)$ de la imagen y para todos los tiempos $t, 0 \leq t \leq T$;
- 15 3. Combinar el primer campo de ondas S_i y el segundo campo de ondas R_i , mediante una condición de obtención de imágenes adecuada, para generar la imagen global I_i . Por ejemplo, utilizando la correlación cruzada entre los dos campos de ondas S_i y R_i como condición de obtención de imágenes, se obtiene la imagen

$$I_i(\mathbf{x}) = \sum_{t=0}^T \mathbf{S}_i(t) \mathbf{R}_i(t)$$

20 Según unos procedimientos de estudio sísmico actuales, el procedimiento de nueva focalización descrito anteriormente se repite para cada recopilación de tiros individual y por consiguiente el coste de la operación completa es proporcional al número total de recopilaciones de tiros.

25 Una manera de reducir el coste consiste por tanto en aplicar migración sísmica a la suma de diversas recopilaciones de tiros, también definida como "recopilaciones de tiros de orden N compuestas", siendo el "orden" el número de recopilaciones de tiros sumadas. La suma de dos o más recopilaciones de tiros es una nueva recopilación de tiros cuyos sensores sísmicos 16 corresponden a la unión de los sensores sísmicos 16 de las fuentes individuales 12 y, en el caso de sensores sísmicos 16 en posiciones coincidentes, se suman las trazas relativas.

30 En el caso de recopilaciones de tiros compuestas, la nueva focalización sigue de nuevo el esquema de procedimiento en tres etapas consecutivas descrito anteriormente, con la variante de que en la primera etapa, todas las fuentes sísmicas 12 se modelan simultáneamente. Dado que la propagación de ondas sísmicas satisface el principio de superposición de efectos o, en otras palabras, el efecto obtenido mediante activación simultánea de dos fuentes sísmicas 12 es igual a la suma de los efectos individuales (lo mismo es válido para la retropropagación descrita para la segunda etapa), en la tercera etapa, la condición de obtención de imágenes produce el siguiente resultado:

$$I_i(\mathbf{x}) = \sum_{t=0}^T \left(\sum_{i=1}^N \mathbf{S}_i(t) \right) \left(\sum_{i=1}^N \mathbf{R}_i(t) \right) = \sum_{t=0}^T \left(\sum_{i=1}^N \mathbf{S}_i(t) \mathbf{R}_i(t) + \sum_{i \neq j} \mathbf{S}_i(t) \mathbf{R}_j(t) \right)$$

40 donde el término de error es evidente:

$$\sum_{i \neq j} \mathbf{S}_i(t) \mathbf{R}_j(t)$$

45 El procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención propone reducir el término de error al obtener la imagen I_i . En primer lugar, se aplican unas ponderaciones adecuadas q a las recopilaciones de tiros, antes de sumarlas o, en otras palabras, se multiplica cada traza de cada recopilación de tiros por un coeficiente o "factor de ponderación" q . Todas las trazas de la misma recopilación de tiros se multiplican por la misma ponderación q . De la misma manera, al modelar la onda generada por la fuente sísmica 12, se multiplica dicha fuente sísmica 12 por el mismo factor de ponderación q por el que se multiplicaron las trazas relativas. Además de las ponderaciones q , también se deben seleccionar adecuadamente las fuentes sísmicas 12 que se van a combinar, teniendo en cuenta sus posiciones recíprocas y el hecho de que no se pueden distinguir dos fuentes sísmicas 12 cerca una de otra, si se observan desde una distancia suficientemente grande.

55 Se considera el caso con dos fuentes sísmicas 12₁ y 12₂, por ejemplo, y suponiendo que en primer lugar se migra su suma. En este caso se obtiene una primera imagen I_1 :

$$I_1(\mathbf{x}) = \sum_{t=0}^T (\mathbf{S}_1(t) + \mathbf{S}_2(t)) (\mathbf{R}_1(t) + \mathbf{R}_2(t)) = \sum_{t=0}^T (\mathbf{S}_1(t) \mathbf{R}_1(t) + \mathbf{S}_2(t) \mathbf{R}_2(t)) + (\mathbf{S}_1(t) \mathbf{R}_2(t) + \mathbf{S}_2(t) \mathbf{R}_1(t))$$

60 Se supone ahora que se migra la diferencia en las dos mismas fuentes sísmicas 12₁ y 12₂, obteniendo una segunda imagen I_2 :

$$I_2(\mathbf{x}) = \sum_{t=0}^T (\mathbf{S}_1(t) - \mathbf{S}_2(t)) (\mathbf{R}_1(t) - \mathbf{R}_2(t)) = \sum_{t=0}^T (\mathbf{S}_1(t) \mathbf{R}_1(t) + \mathbf{S}_2(t) \mathbf{R}_2(t)) - (\mathbf{S}_1(t) \mathbf{R}_2(t) + \mathbf{S}_2(t) \mathbf{R}_1(t))$$

En este punto, sumando las dos imágenes I_1 y I_2 y dividiendo el resultado entre dos, se obtiene la misma imagen que se obtendría migrando las dos fuentes sísmicas 12_1 y 12_2 por separado. Sin embargo, al mismo tiempo, el coste para migrar estas dos fuentes sísmicas 12_1 y 12_2 ha permanecido invariable: en otras palabras, en cualquier caso se deben calcular dos migraciones.

Se puede lograr una ganancia si se migran en la segunda migración otras dos fuentes sísmicas 12_3 y 12_4 diferentes de las indicadas con 12_1 y 12_2 :

$$I_2'(x) = \sum_{t=0}^T (S_3(t) - S_4(t))(R_3(t) - R_4(t)) = \sum_{t=0}^T (S_3(t)R_3(t) + S_4(t)R_4(t)) - (S_3(t)R_4(t) + S_4(t)R_3(t))$$

Si las fuentes sísmicas 12_1 y 12_3 están muy cerca una de otra y, al mismo tiempo, si las fuentes sísmicas 12_2 y 12_4 , también están muy cerca, entonces, basándose en la analogía mediante la cual no se puede distinguir dos fuentes luminosas cercanas si se observan desde una distancia mucho mayor que su distancia recíproca, es razonable suponer que:

$$\begin{aligned} S_1(t) &\approx S_3(t) \\ R_1(t) &\approx R_3(t) \\ S_2(t) &\approx S_4(t) \\ R_2(t) &\approx R_4(t) \end{aligned}$$

y por tanto:

$$(S_1(t)R_2(t) + S_2(t)R_1(t)) \approx (S_3(t)R_4(t) + S_4(t)R_3(t))$$

Por tanto, se puede esperar una cancelación razonable del término de error, mientras que las cuatro fuentes sísmicas 12_1 , 12_2 , 12_3 y 12_4 se han migrado con tan sólo dos migraciones.

En el ejemplo previo, se utilizaron unas recopilaciones de tiros compuestas de orden 2 y dos pares de ponderaciones $q_{1,1} = +1$, $q_{1,2} = +1$ y $q_{2,1} = +1$, $q_{2,2} = -1$. Se puede generalizar el ejemplo en el caso en el que se debe agrupar un número N de recopilaciones de tiros de orden N compuestas, realizando entonces la migración de N^2 fuentes sísmicas 12 con N migraciones distintas. En este caso, las ponderaciones $q_{i,j}$ se deben obtener a partir de los elementos de una matriz ortogonal de orden N, $Q_N = [q_{i,j}]$, es decir, tal que:

$$Q_N^T Q_N = I$$

Además, las fuentes sísmicas 12 que se van a combinar se deben seleccionar con un análisis adecuado de las posiciones de todas las fuentes sísmicas registradas, tal como se muestra a modo de ejemplo en la figura 2. Una vez seleccionadas una distancia mínima d_{\min} y una distancia máxima d_{\max} :

- las fuentes sísmicas 12 se agrupan en una pluralidad de grupos G_N cada uno de N fuentes sísmicas 12, en las que las N fuentes sísmicas 12 de un grupo genérico G_k ($1 \leq k \leq N$) deben presentar una distancia recíproca como para quedar contenidas dentro de una circunferencia que presenta un diámetro predefinido d_k igual a $2r_k \leq d_{\max}$ (figura 4);
- los grupos G_N de fuentes sísmicas 12 se agrupan a su vez en supergrupos de cada uno de los N grupos G_N (figura 5). Los grupos G_N de fuentes sísmicas 12 que pertenecen al mismo supergrupo se deben seleccionar de modo que la distancia recíproca $d_{i,k}$ entre los baricentros de dos grupos distintos G_i y G_k sea mayor que la distancia mínima d_{\min} . Al calcular los baricentros, cada fuente sísmica 12 se considera como un punto másico unitario.

Por tanto, cada supergrupo está compuesto por N^2 fuentes sísmicas 12 y, para cada supergrupo, se realizan N migraciones, en las que para cada migración se migra una recopilación de tiros de orden N compuesta obtenida seleccionando una fuente sísmica 12 de cada grupo G_N . La selección se debe realizar de modo que cada fuente sísmica 12 de cada grupo G_N pertenezca a una única recopilación de tiros compuesta. En la migración del k-ésima recopilación de tiros compuesta, se suman las recopilaciones de tiros relativas con una suma ponderada, en la que los coeficientes q_j aplicados a cada recopilación de tiros se obtienen a partir de la línea k de la matriz Q_N (figura 6).

La imagen volumétrica final I_i de la estructura 20 geológica se obtiene a partir de la suma de las imágenes parciales obtenidas a partir de la migración de todas las recopilaciones de tiros compuestas para todos los supergrupos.

- 5 En general, en la adquisición, no se adquiere necesariamente un número múltiple de recopilaciones de tiros N^2 y/o, en cualquier caso, pueden no agruparse necesariamente todas las recopilaciones de tiros para satisfacer las restricciones con respecto a $d_{\text{mín}}$ y $d_{\text{máx}}$. En este caso, cuando se han construido todos los supergrupos posibles que presentan una dimensión N y queda un número coherente de recopilaciones de tiros no agrupadas, se pueden construir unos supergrupos que presentan una dimensión $N' = (N - p)$, con $1 \leq p \leq (N - 1)$, a partir de $p = 1$. Con un aumento del valor de p , la eficacia del procedimiento según la invención disminuye, pero en cualquier caso se obtiene una ganancia con respecto al caso en el que se migran individualmente las recopilaciones de tiros.
- 10 Por tanto, se puede observar que el procedimiento de estudio sísmico del subsuelo según la presente invención alcanza los objetivos especificados anteriormente. De hecho, se obtiene una ganancia neta igual a N en el número de migraciones sísmicas ya que, para cada grupo de fuentes sísmicas considerado, se migran N^2 fuentes sísmicas con N migraciones.
- 15 El procedimiento de estudio sísmico del subsuelo de la presente invención así concebido puede en cualquier caso ser sometido a numerosas modificaciones y variantes, todas ellas incluidas en el mismo concepto inventivo. Por tanto, el alcance de protección de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para obtener una imagen volumétrica de una estructura (20) geológica presente en el subsuelo, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- 5 - generar una pluralidad de ondas sísmicas por medio de una pluralidad de fuentes sísmicas (12);
- adquirir una pluralidad de señales o trazas, obtenidas procesando las ondas sísmicas reflejadas por la estructura (20) geológica, para crear un registro sísmico o recopilación de tiros para la misma posición de activación de cada fuente sísmica (12);
- 10 - migrar, mediante un tratamiento numérico, las recopilaciones de tiros para crear unas imágenes volumétricas parciales respectivas de la estructura (20) geológica,
- 15 caracterizado por que la etapa de migrar las recopilaciones de tiros se obtiene mediante las siguientes etapas:
 - agrupar las fuentes sísmicas (12) en una pluralidad de grupos (G_N) de N fuentes sísmicas (12) cada uno, en el que las N fuentes sísmicas (12) de un grupo genérico (G_k) presentan una distancia recíproca tal que quedan contenidas en una circunferencia que presenta un diámetro (d_k) inferior a una distancia máxima predefinida ($d_{m\acute{a}x}$);
 - 20 - agrupar los grupos (G_N) de fuentes sísmicas (12) en supergrupos de N grupos (G_N) cada uno, en el que cada supergrupo está compuesto por N^2 fuentes sísmicas (12) y en el que la distancia recíproca ($d_{i,k}$) entre los baricentros de dos grupos distintos (G_i, G_k) de fuentes sísmicas (12) pertenecientes al mismo supergrupo es superior a una distancia mínima predefinida (d_{min});
 - 25 - realizar N migraciones para cada supergrupo, en el que para cada migración se migra una recopilación de tiros de orden N compuesta, obtenida seleccionando una fuente sísmica (12) de cada grupo (G_N), obteniendo así la migración de N^2 fuentes sísmicas (12) con N migraciones distintas;
 - 30 - sumar las imágenes volumétricas parciales individuales así obtenidas para obtener la imagen volumétrica global (I_i) de la estructura (20) geológica.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la migración focaliza cada reflexión registrada en cada recopilación de tiros en el punto correspondiente del subsuelo en el que se originó la reflexión, mediante las siguientes etapas:

- 40 - modelar numéricamente la propagación de la onda generada por cada fuente sísmica (12), obteniendo un primer campo de ondas $S_i(x, t)=S_i(t)$ en cada punto (x) de la imagen, con respecto a la posición (x_{s_i}) de la fuente sísmica (12) y al tiempo (t);
- retropropagar en profundidad las reflexiones registradas, obteniendo un segundo campo de ondas $R_i(x, t)=R_i(t)$ en cada punto (x) de la imagen;
- 45 - combinar el primer campo de ondas (S_i) y el segundo campo de ondas (R_i) para generar la imagen volumétrica global (I_i) de la estructura (20) geológica.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende también la etapa de multiplicación de cada traza de cada recopilación de tiros por un factor o coeficiente de ponderación (q).

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que se multiplican todas las trazas de la misma recopilación de tiros por el mismo factor o coeficiente de ponderación (q).

5. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, en el que los factores o coeficientes de ponderación (q) se obtienen a partir de los elementos de una matriz (Q_N) de un orden N ortogonal, es decir, tal que:

$$Q_N^T Q_N = I .$$

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que, en la migración de un k-ésima recopilación de tiros compuesta de orden N se añaden las recopilaciones de tiros relativas con una suma ponderada, en el que los coeficientes (q_j) aplicados a cada recopilación de tiros se obtienen a partir de la línea k de la matriz (Q_N).

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en el cálculo de los baricentros de los grupos (G_N) de fuentes sísmicas (12), se considera cada fuente sísmica (12) como un punto másico unitario.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la selección de cada fuente sísmica (12) a partir de cada grupo (G_N) se realiza de tal manera que cada fuente sísmica (12) de cada grupo (G_N) pertenece únicamente a una recopilación de tiros compuesta.

5

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, si tras la construcción de todos los supergrupos posibles que presentan una dimensión N , queda un número coherente de recopilaciones de tiros no agrupadas, se realiza la construcción de supergrupos que presentan una dimensión $N' = (N - p)$, siendo $1 \leq p \leq (N - 1)$, comenzando a partir de $p = 1$.

10

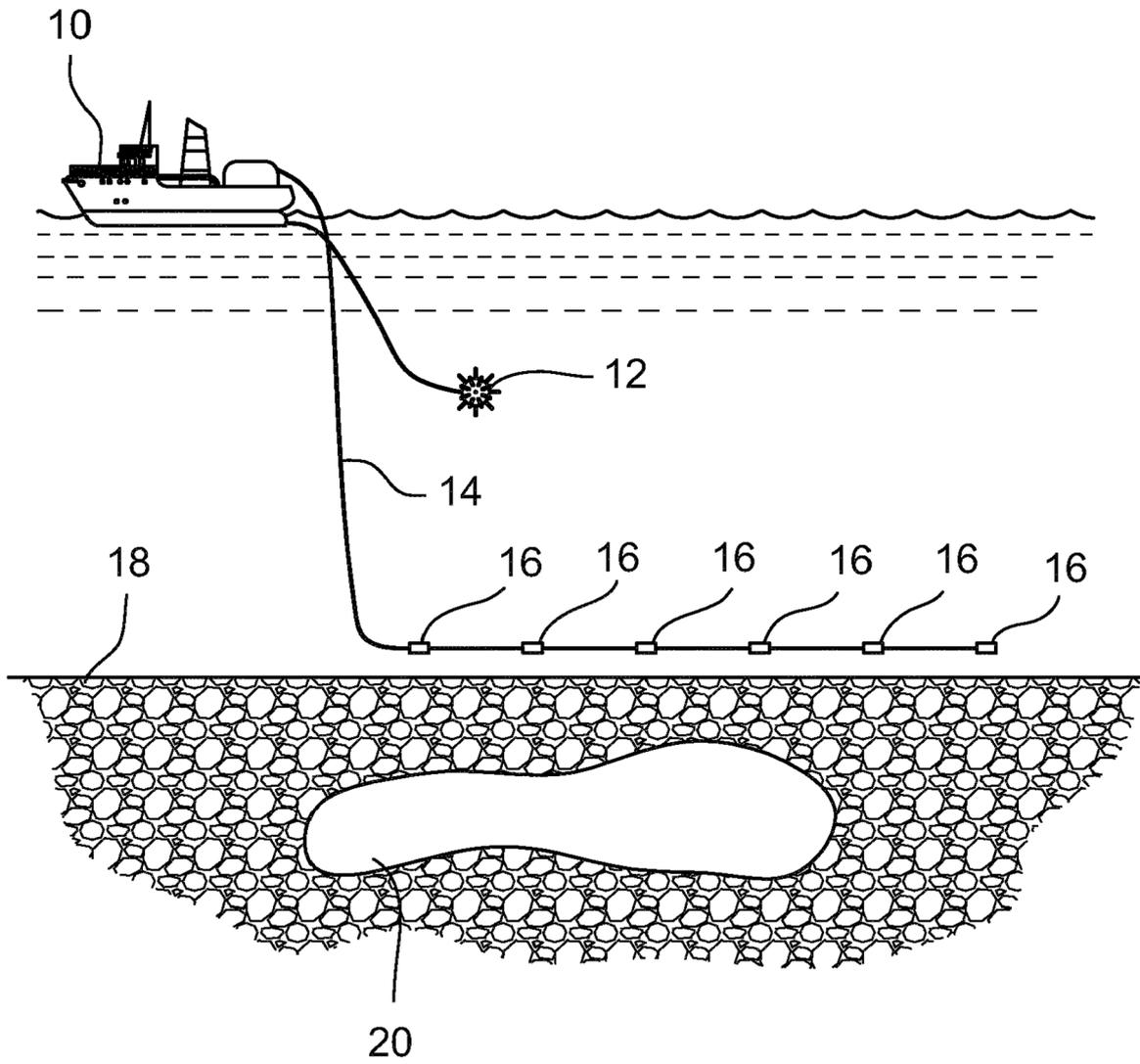


Fig. 1

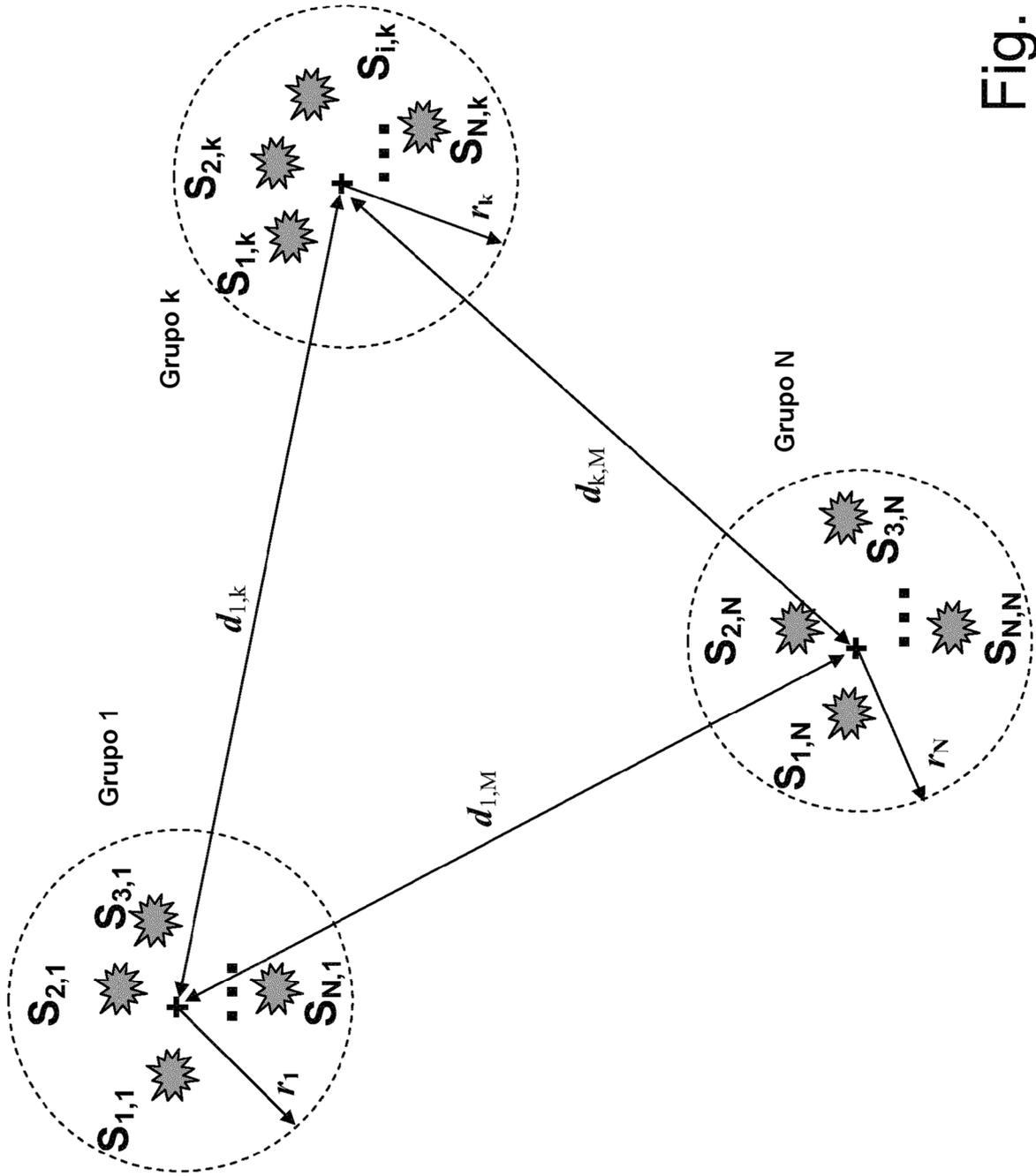


Fig. 2

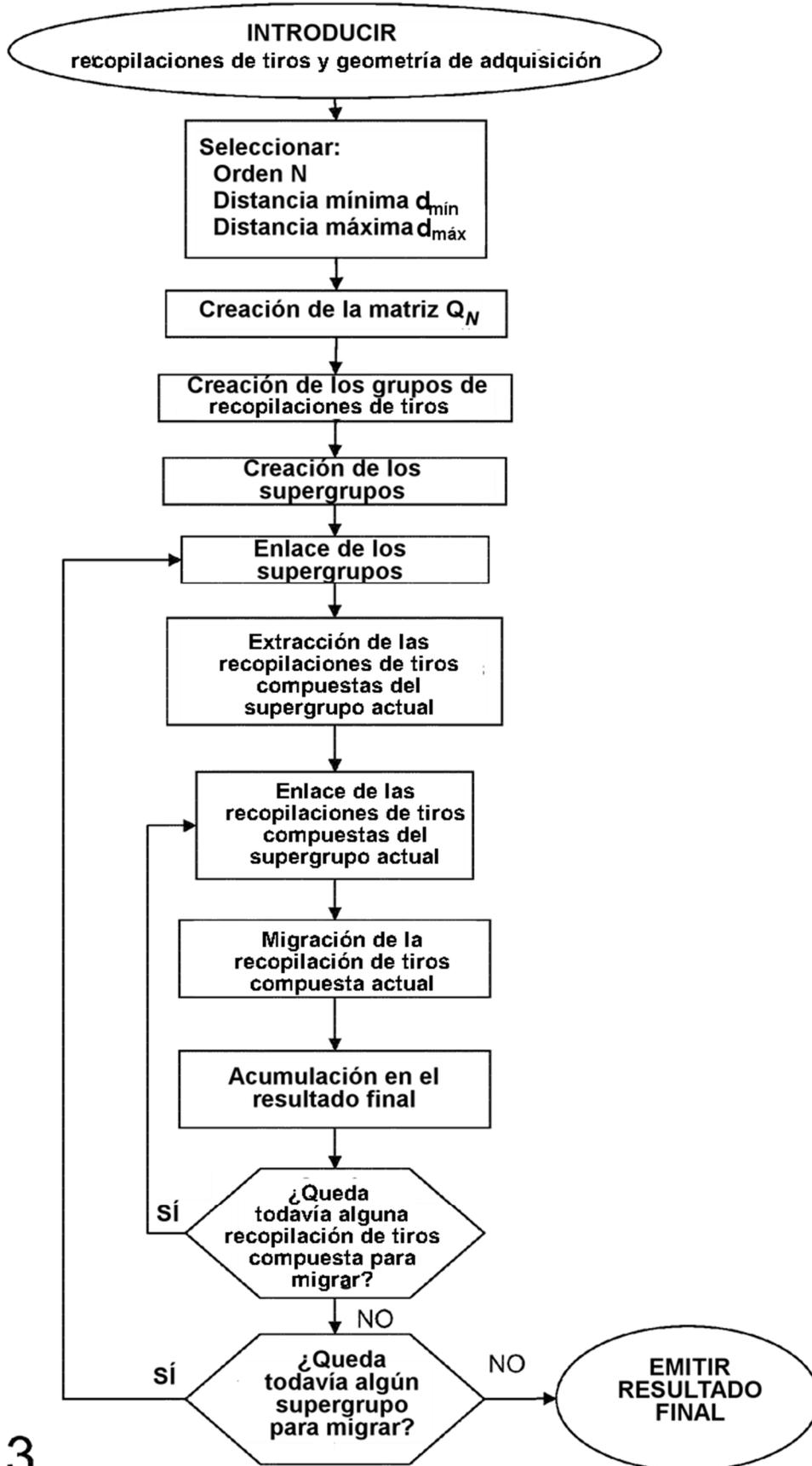


Fig. 3

Creación de los grupos de recopilaciones de tiros

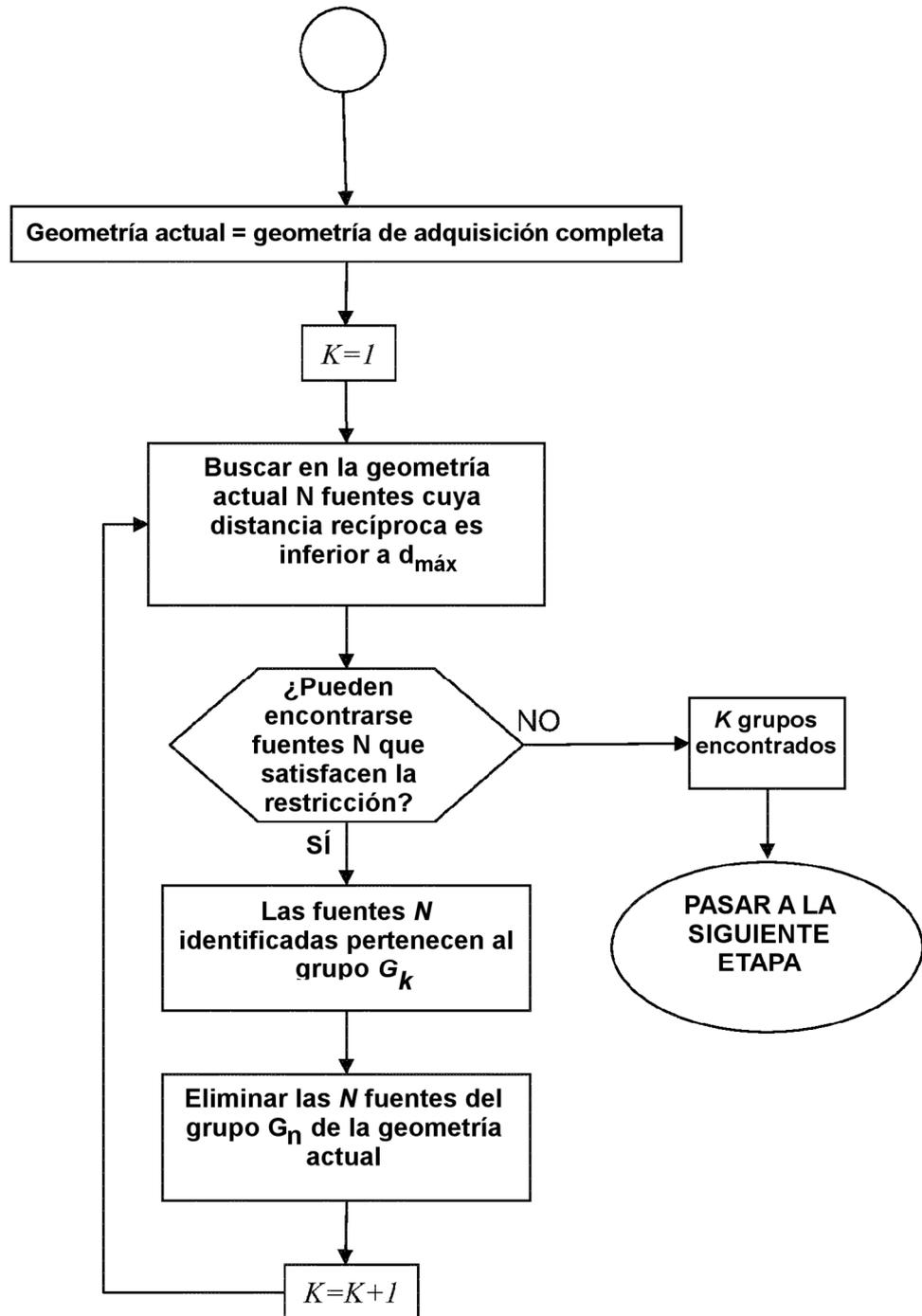


Fig. 4

Creación de los supergrupos

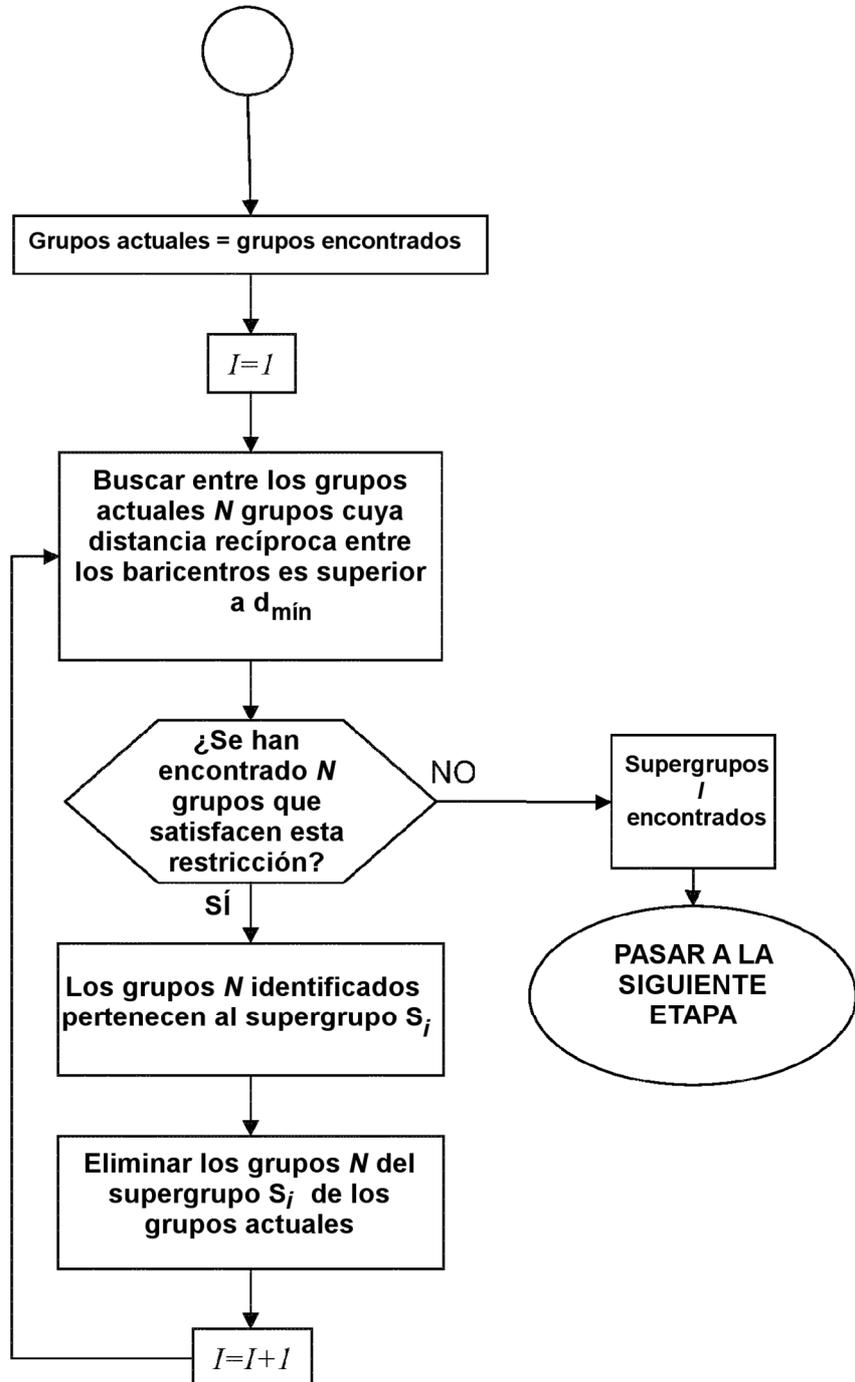


Fig. 5

Extracción de las recopilaciones de tiros compuestas de un subgrupo

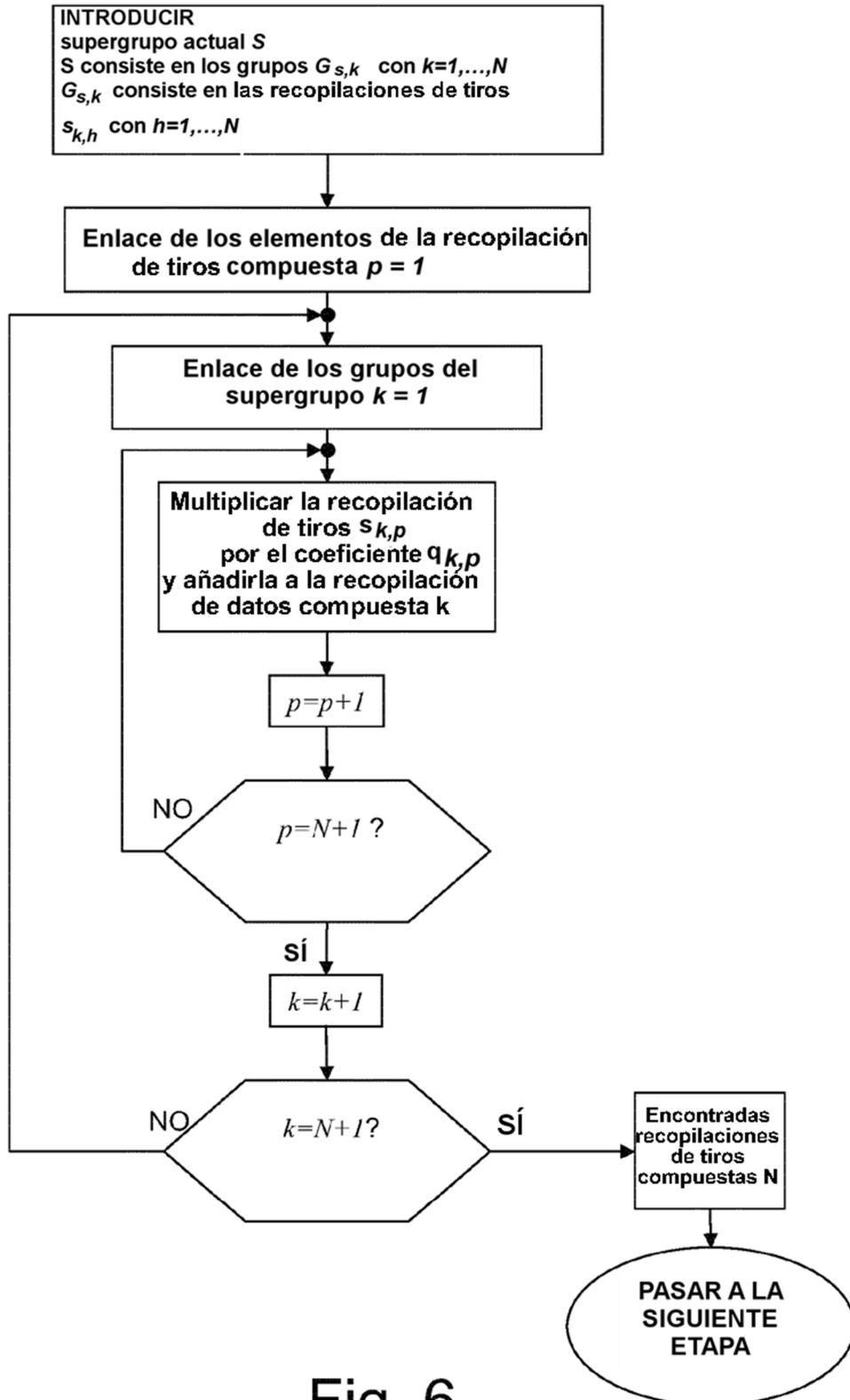


Fig. 6