

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 018**

51 Int. Cl.:

G01V 99/00 (2009.01)

E21B 43/26 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

G06T 17/05 (2011.01)

G06T 17/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.11.2013 PCT/EP2013/073331**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2014 WO14072448**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2013 E 13798592 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2017 EP 2929136**

54 Título: **Método para evaluar el impacto de fracturas pre-existentes y fallas en la gestión de reservorios**

30 Prioridad:

09.11.2012 US 201213673495

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

10.04.2018

73 Titular/es:

**REPSOL, S.A. (50.0%)
Centro de Tecnología Repsol Ctra. Extremadura
A-5 km. 18
28045 28935 Móstoles - Madrid, ES y
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES
CORPORATION (50.0%)**

72 Inventor/es:

**HEGAZY, MOHAMED AHMED;
RAMASESHA LAKSHMIKANTHA,
MOOKANAHALLIPATNA;
SEGURA SERRA, JOSÉ MARÍA;
FRANCA, LEOPOLDO LUIS CABO PENNA;
T MELLO, ULISSES y
ROCHA RODRIGUES, EDUARDO**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 663 018 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

Método para evaluar el impacto de fracturas pre-existentes y fallas en la gestión de reservorios

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente aplicación está relacionada en general con reservorios de recursos naturales tales como reservorios de petróleo y gas y con su gestión, y más en particular con la evaluación del impacto de fallas y fracturas pre-existentes en la gestión del reservorio, e.g., asociado a la producción de hidrocarburos.

10 ANTECEDENTES

15 Cuando se producen hidrocarburos, se induce una reducción de la presión de poro. La reducción en la presión de poro causa un incremento de las tensiones efectivas actuantes en el esqueleto sólido del reservorio. Este cambio en tensiones efectivas altera las propiedades físicas de los reservorios tales como la porosidad y la permeabilidad, así como el comportamiento de fracturas y fallas dentro del reservorio. Dependiendo del cambio del estado tensional, las fracturas existentes se pueden comportar como conductos o como barreras para el flujo de fluidos (e.g. petróleo, gas, y agua, etc.). Por ejemplo, si el tensor de tensiones rota, una red de fracturas anteriormente cerrada podría abrirse, permitiendo el flujo preferencial a lo largo de la dirección de la red, que podría requerir un cambio en la estrategia de gestión del reservorio para la producción de hidrocarburos en el campo.

25 Las soluciones conocidas involucran la modelización del campo de tensiones del reservorio utilizando técnicas que requieren explícitamente de una malla numérica que represente el reservorio con las fallas y fracturas existentes definidas y discretizadas explícitamente en la malla numérica. Sin embargo, dada la incertidumbre sobre la posición de las fallas/fracturas existentes en el reservorio, es común el hecho de crear escenarios alternativos para la posición de las fracturas/fallas en el reservorio. En las soluciones conocidas al problema, cada nuevo escenario requeriría una malla numérica distinta, o el remallado del escenario inicial.

30 Otro inconveniente de las soluciones conocidas es el hecho de que tratan de predecir la iniciación y propagación de las fracturas dinámicamente, lo que requiere de un remallado continuo, y por tanto de una demanda significativa de recursos computacionales. Dado que es difícil saber la distribución exacta de las propiedades en los materiales en profundidad dada la falta de medidas directas, la predicción de la iniciación y propagación de fracturas y fallas puede producir resultados que son muy distintos de la realidad.

35 El documento US 2009/248374 A1 describe un método para modelizar una respuesta de reservorio en un sistema subsuperficial que tiene al menos una característica subsuperficial. Dicho documento también describe una simulación numérica computarizada realizada de manera que los efectos de la característica subsuperficial se reconocen en la respuesta.

40 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Se proporciona un método y sistema para la evaluación del impacto de fallas y facturas existentes en la gestión de reservorios. El método, en un primer aspecto, consta de la generación de un modelo geológico y de reservorio utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo. En una realización adicional el método incluye la creación de una malla numérica que representa el modelo geológico generado y que consta de la delimitación asociada con estratos y regiones geológicas sin restringir la malla numérica a representar de manera explícita las fallas o fracturas. En una realización adicional el método incluye la localización de los elementos de la malla numérica que intersectan la o las ubicaciones definidas por las fallas o fracturas. En una realización adicional el método incluye la discretización de elementos de la malla numérica que no intersectan la o las ubicaciones de una o varias fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un primer método numérico. En una realización adicional el método también incluye la discretización de los elementos de la malla que intersectan la o las ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico. En una realización adicional el método incluye la asignación de los elementos de la malla numérica con propiedades de flujo y mecánicas, formando la malla numérica poblada con propiedades un modelo geomecánico a utilizar para la evaluación del impacto de fallas y fracturas existentes.

60 Un sistema para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes para la gestión de reservorios, en un primer aspecto, incluye un módulo de evaluación del impacto utilizable para la generación de un modelo geológico y de reservorio utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo. El módulo de evaluación de impacto se puede también utilizar para definir una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación. En una realización adicional el módulo de evaluación de impacto se puede también utilizar para crear una malla numérica que representa el modelo geológico generado que incluye la delimitación asociada con estratos y regiones geológicas sin restringir la malla numérica a la representación explícita de la falla o la fractura. En una realización adicional el módulo de evaluación de impacto se puede también utilizar para la identificación de aquellos elementos de la malla numérica que intersectan la o las ubicaciones definidas. En

una realización adicional el módulo de evaluación de impacto se puede también utilizar para discretizar elementos de la malla numérica que no intersectan una o varias ubicaciones de una o varias fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación, de acuerdo con un primer método numérico. En una realización adicional el módulo de evaluación de impacto se puede también utilizar para discretizar los elementos de la malla que intersectan una o más ubicaciones definidas por una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico. En una realización adicional el módulo de evaluación de impacto se puede también utilizar para asignar propiedades mecánicas y de flujo a los elementos de la malla numérica, formando la malla numérica poblada un modelo geomecánico.

5
10 También se proporciona un medio legible de almacenaje por ordenador, almacenando un programa con instrucciones ejecutable por una máquina para realizar uno o más de los métodos descritos.

A continuación se describen en detalle, con referencia a los dibujos adjuntos, más rasgos característicos así como la estructura y la operación de varias de las realizaciones.

15
BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La Fig. 1 ilustra un método para la evaluación del impacto de fallas y facturas existentes para la gestión de un reservorio en una realización de la presente divulgación.

20 La Fig. 2A es un diagrama que muestra un ejemplo de modelo esquemático con fallas representadas por líneas a trazos en una realización de la presente divulgación.

25 La Fig. 2B es un diagrama que muestra un ejemplo de una malla no estructurada conforme con las fallas en una realización de la presente divulgación.

30 La Fig. 2C es un diagrama que muestra un ejemplo de una malla Cartesiana con elementos enriquecidos para los elementos que intersectan las fallas con nodos enriquecidos resaltados en negrita en una realización de la presente divulgación.

La Fig. 3 ilustra un flujo de trabajo para estimar la presión del fluido y el estado de tensiones del esqueleto sólido de las rocas en una realización de la presente divulgación.

35 La Fig. 4 ilustra un esquema para un ejemplo de ordenador o sistema de procesado que implementa el sistema para evaluar el impacto de las fallas y facturas existentes para la gestión del reservorio en una realización de la presente divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

40 En una realización de la presente divulgación se presenta la evaluación del impacto de los cambios en el campo de tensiones dentro de un reservorio asociados a la producción de hidrocarburo. Un método en un aspecto de la presente divulgación no requiere de una representación explícita de las fallas y fracturas en la malla y un re-mallado explícito cuando se cambia la ubicación de fallas y fracturas durante el flujo de trabajo para estimar el cambio de tensiones efectivas y su impacto. En cambio, se puede utilizar la misma malla numérica para todos los escenarios alternativos. En una realización de la presente divulgación, se trata implícitamente el cambio de posición de las fracturas y/o fallas mediante el Método de los Elementos Finitos eXtendidos (XFEM, i.e. en inglés eXtended Finite Element Method) utilizando la misma malla numérica. En otro aspecto, sólo se utiliza la información de fallas y facturas existentes visible en secciones sísmicas.

50 En una realización de la presente divulgación se presenta un método para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes dentro del reservorio que es capaz de utilizar la misma malla para el modelo geomecánico y de flujo de fluido. Este método no requiere una representación geométrica explícita de las discontinuidades (fracturas y/o fallas) en la malla numérica y así la malla numérica puede ser arbitraria o genérica. Esto facilita sustancialmente el flujo de trabajo porque no requeriría el remallado del modelo para insertar nuevas discontinuidades en el modelo.

55 La Fig. 1 ilustra un método para la evaluación del impacto de fallas y facturas existentes para la gestión de un reservorio en una realización de la presente divulgación. En 102, se genera un modelo de reservorio y geológico utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo. El modelo resultante contiene el reservorio, y las regiones colindantes (overburden por encima, underburden por debajo, y sideburden a los lados). Cada una de estas regiones tiene propiedades mecánicas asociadas con ellas. Estas propiedades se derivan de los datos de entrada. La ubicación de fallas y fracturas pre-existentes se definen durante la interpretación de datos sísmicos y de registros de pozo (e.g. registro de FMI). Su geometría se define como superficies poligonales.

65 En 104, se crea una malla numérica para representar el modelo geológico teniendo en cuenta la delimitación de los estratos y las regiones de la geología sin restringir la malla explícitamente para la representación de fallas y

fracturas.

La Fig. 2A muestra una sección transversal de un modelo esquemático con tres fallas representadas por líneas a puntos. La Fig. 2B muestra una malla no-estructurada restringida por o conforme a las fallas. La malla mostrada en la Fig. 2B tiene el inconveniente de que si durante el análisis de la interpretación de las fallas se requiere cambiar su ubicación (para obtener un mejor ajuste entre las observaciones y los cálculos de tensión/presión), se ha de crear una nueva malla. La Fig. 2C muestra un malla en la que sus celdas no están restringidos, o no son conformes, a las fallas pre-existentes. Es una malla Cartesiana con elementos enriquecidos para los elementos intersectados por la falla. Los nudos enriquecidos se resaltan en negrita.

Con superficies poligonales que representan las fallas y fracturas y la malla numérica, se identifican todos los elementos de la malla que están intersectados por las fallas. Por ejemplo, en 108 se definen la ubicación de las discontinuidades (e.g., fallas y/o fracturas), e.g., durante el proceso de interpretación de la sísmica y registros de pozo (e.g., registro FMI). En 106, se identifican los elementos de la malla numérica (generada en 104) que intersectan las ubicaciones deseadas.

En 110, se discretizan los elementos no intersectados de acuerdo con un método numérico (también referido en esta realización como un primer método numérico), e.g., con el tradicional Método de los Elementos Finitos de Galerkin (GFEM, en inglés Galerkin Finite Elements Method), que modela las continuidades. Los elementos intersectados se discretizan de acuerdo con otro método numérico (también referido en esta realización como un segundo método numérico), e.g., con el Método de los Elementos Finitos eXtendidos (XFEM, i.e. en inglés eXtented Finite Element Method) que tienen funciones de base enriquecidas para modelar las discontinuidades en la deformación y la tensión embebidas en los elementos.

En 112, los elementos de la malla se pueblan con propiedades mecánicas y de flujo. Ejemplos de propiedades mecánicas incluyen, pero no están limitadas a, propiedades elásticas, plásticas, viscoplásticas, viscoelásticas. Ejemplos de propiedades de flujo incluyen, pero no están limitadas a, permeabilidad y porosidad. El modelo resultante (malla) se denomina modelo geomecánico de entrada para el reservorio y regiones colindantes. La malla es una representación de los modelos de sólido y fluido. Cada elemento de la malla está compuesto por fases sólidas y de fluidos. El esqueleto sólido es poroso y su esqueleto tiene propiedades mecánicas (e.g., compresibilidad, expansión térmica, etc.). Hay propiedades roca-fluido debido a las interacciones de los fluidos y los sólidos (e.g., permeabilidad relativa). Las propiedades mecánicas de la roca son resultado de la combinación de las propiedades del esqueleto sólido y de las propiedades del fluido. Todas estas propiedades se representan en una única malla. Un elemento de la malla tiene propiedades relacionadas con el sólido y el fluido tales como porosidad, permeabilidad, densidad del fluido, módulo de Young (en elasticidad), permeabilidad relativa, tipo de roca, saturación del fluido para cada fase de fluido, etc. El modelo de flujo de fluido puede utilizar la misma malla o una malla derivada con distinta resolución, siempre y cuando la malla de flujo de fluido se actualice con estimaciones del modelo geomecánico.

La Fig. 3 ilustra un flujo de trabajo para estimar la presión del fluido y el estado de tensiones del esqueleto sólido para rocas en una realización de la presente divulgación. En 302, se genera un modelo de flujo de fluido. En 304, se genera un modelo geomecánico, por ejemplo, tal y como se describe en referencia a la Fig. 1. En 306, se inicializa el modelo geomecánico para definir la tensión-deformación inicial que es compatible con las tensiones medidas en las ubicaciones de los pozos y con observaciones de tensión-deformación. Estimaciones/medidas directas de tensiones se obtienen normalmente de pozos y de registros de pozos (e.g., Zoback, 2003, ver artículo en sitio http://hera.wdcb.ru/tols/tecton/method/biblio/magn/Zoback_03.pdf).

En 308, se resuelve una solución acoplada del modelo de flujo de fluido y geomecánico. En este proceso en una realización, se resuelve primero la solución de flujo de fluido multifase para estimar la presión de poro en el reservorio y en las regiones colindantes en 312. La presión se pasa al modelo geomecánico que resuelve el problema de tensión-deformación para calcular las tensiones y deformaciones del esqueleto sólido de la roca en 310. Después de estimar las tensiones y las deformaciones, las propiedades petrofísicas del reservorio tales como porosidad y permeabilidad se pueden calcular y actualizar para el modelo de flujo de fluido, y el proceso de resolución del modelo geomecánico y del modelo de flujo de fluido pueden iterar hasta que las soluciones de flujo de fluido y de tensión convergen.

En 310, se pueden realizar el análisis de los resultados y su calibración con los datos de producción de pozo en el pasado (ajuste histórico). Después de la calibración, se puede utilizar el modelo para prever el comportamiento futuro del reservorio, teniendo en cuenta los efectos de las fracturas y de las fallas. Se pueden idear mejores estrategias de gestión del reservorio (e.g. donde inyectar agua) teniendo en cuenta la potencial apertura o cierre de estas discontinuidades.

La Fig. 4 ilustra un esquema para un ejemplo de ordenador o sistema de procesado que puede implementar el sistema en una realización de la presente divulgación. El sistema de ordenador es sólo un ejemplo de un sistema de procesamiento adecuado y no pretende sugerir cualquier limitación en el alcance del uso o en la funcionalidad de las realizaciones de la metodología descrita aquí. El sistema de procesamiento mostrado puede ser operacional con

muchas otras configuraciones o entornos de sistema computacional de propósito general o específico. Ejemplos de sistemas de computación bien conocidos, entornos, y/o configuraciones que pueden ser adecuados para su uso con el sistema de procesamiento mostrado en la Fig. 4 pueden incluir, pero no están limitados a, sistemas de ordenador personal, sistemas de ordenador de servidor, clientes ligeros (en inglés *"thin clients"*), clientes pesados (en inglés *"thick clients"*), dispositivos portátiles o laptop, sistemas multiprocesadores, sistemas basados en microprocesadores, decodificadores de señales (en inglés *"set top boxes"*), dispositivos electrónicos de consumo programables, PCs en red, sistemas de minicomputadora, sistemas de ordenador central (en inglés *"mainframe computer systems"*), y ambientes de cálculo distribuidos en nube (en inglés *"distributed cloud computing environments"*) que incluyan cualquier de los sistemas y dispositivos anteriormente citados, y demás.

El sistema de ordenador se puede describir en el contexto general de instrucciones ejecutables de sistema de ordenador, tales como módulos de programa, siendo ejecutados por un sistema de ordenador. Generalmente, los módulos de programa pueden incluir rutinas, programas, objetos, componentes, lógica, estructuras de datos, y demás que ejecutan tareas particulares o implementan tipos de resumen de datos particulares. El sistema de ordenador puede ser puesto en práctica en entornos de computación distribuidos en nubes en las que las tareas se ejecutan por dispositivos remotos de procesamiento que están enlazados mediante una red de comunicaciones. En un entorno de computación distribuido en nube, los módulos de programa pueden estar ubicados tanto en sistemas de medios de almacenamiento computacional locales como en remotos incluyendo dispositivos de almacenamiento de memoria.

Los componentes de un sistema de ordenador pueden incluir, pero no están limitados a, uno o más procesadores o unidades de procesado 12, un sistema de memoria 16 y un bus 14 que acopla varios componentes de sistema incluyendo memoria de sistema 16 a procesador 12. El procesador 12 puede incluir un módulo de evaluación del impacto 10 que ejecuta métodos descritos en la presente. El módulo 10 puede estar programado dentro de los circuitos integrados del procesador 12, o cargados desde la memoria 16, medio de almacenamiento 18, o red 24 o de cualquiera de sus combinaciones.

El bus 14 puede representar uno o más de cualesquiera de los varios tipos de estructura de bus, incluyendo una memoria de bus o controlador de memoria, un bus periférico, un puerto acelerado de gráficos, y un procesador o un bus local utilizando cualesquiera de las variedades de las arquitecturas de bus. A modo de ejemplo, y sin limitación, tales arquitecturas incluyen bus de Arquitectura Estándar de Industria (ISA, en inglés *"Industry Standard Architecture"*), bus de Arquitectura de Micro Canal (MCA, en inglés *"Micro Channel Architecture bus"*), bus ISA Mejorado (EISA, en inglés *"Enhanced ISA"*), bus local de la Asociación de Estándares de Video Electrónicas (VESA, en inglés *"Video Electronics Standards Association"*), y bus de Componente Periférico Interconectas (PCI, en inglés *"Peripheral Component Interconnects"*).

El sistema de ordenador puede incluir una variedad de medios de lectura de sistema de ordenador. Dichos medios pueden ser cualquier medio disponible que es accesible por sistema de ordenador, y puede incluir ambos tipos de medios volátiles y no-volátiles, y medios extraíbles y no-extraíbles.

El sistema de memoria 16 puede incluir medios de lectura de sistema de ordenador en la forma de memoria volátil, tales como memoria de acceso aleatorio (RAM, en inglés *random access memory*) y/o memoria de cache u otros. El sistema de ordenador puede además incluir otros tipos de medios de almacenamiento de sistema de ordenador tipo extraíble/no-extraíble, volátil/no-volátil. A modo de ejemplo sólo, el sistema de almacenamiento 18 se puede proporcionar para leer desde y escribir a un medio magnético no-extraíble, no-volátil (e.g., un "disco duro"). Aunque no se muestre, se pueden proporcionar una unidad de disco magnético para lectura desde y escritura a un disco magnético extraíble, no-volátil (e.g., disquete), y una unidad de disco óptico para lectura desde y escritura a un disco óptico extraíble, no-volátil tales como un CD-ROM, DVD-ROM u otros medios ópticos. En tales casos, cada uno de ellos se puede conectar al bus 14 mediante uno o más medios de interfaces datos.

El sistema de ordenador puede también comunicarse con uno o más dispositivos externos 26 tales como un teclado, un dispositivo de puntero, un monitor 28, etc.; uno o más dispositivos que permiten al usuario interactuar con el sistema de ordenador; y/o cualesquiera otros dispositivos (e.g., tarjeta de red, módem, etc.) que permiten al sistema de ordenador comunicarse con uno o más otros dispositivos computacionales. Tal comunicación puede ocurrir vía interfaces de entrada/salida 20 (I/O, en inglés *Input/Output*).

Aun así, el sistema de ordenador puede comunicarse con una o más redes 24 tales como una red de área local (LAN, en inglés *Local Area Network*), una red general de área ancha (WAN, en inglés *Wide Area Network*), y/o una red pública (e.g., el Internet) mediante adaptadores de red 22. Tal y como se muestra, el adaptador de red 22 se comunica con los otros componentes del sistema de ordenador vía bus 14. Se debe entender que aunque no se muestre, se podrían utilizar otros componentes de hardware y/o software en conjunto con el sistema de ordenador. Ejemplos incluyen, pero no están limitados a: micro-código, dispositivo de driver, unidades de procesamiento redundantes, matrices de unidad de disco externo, sistemas RAID, dispositivos de cinta, y sistemas archivísticos de almacenamiento de datos, etc.

Tal y como apreciará un entendido en la material, aspectos de la presente invención se pueden realizarse como un

producto de sistema, método o programa de ordenador. En consecuencia, aspectos de la presente invención pueden tomar la forma de realizaciones enteramente de hardware, enteramente de software (incluyendo firmware, software residente, micro-código, etc.) o una realización combinando aspectos de software y de hardware que pueden todos en general ser referidos en la presente como "circuito", "módulo" o "sistema". Además, aspectos de la presente invención pueden tomar la forma de un producto de programa de ordenador realizado en uno o más medios de ordenador legible(s) teniendo realizado un código de programa de ordenador legible.

Se puede utilizar cualquier combinación de uno o más medio(s) de ordenador legible(s). El medio de ordenador legible puede ser un medio de señal de ordenador legible o un medio de almacenamiento de ordenador legible. Un medio de almacenamiento de ordenador legible puede ser, por ejemplo, sin estar limitado a, un sistema, aparato o dispositivo electrónico, magnético, óptico, electromagnético, infrarrojo, o semiconductor, o cualquier combinación apropiada de los susodichos. Ejemplos más específicos (una lista no-exhaustiva) de un medio de almacenamiento de ordenador legible incluirían los siguientes: una conexión eléctrica con uno o más cables, un disquete de ordenador portable, un disco duro, un sistema de acceso de memoria aleatorio (RAM, en inglés "*random access memory*"), una memoria de sólo lectura (ROM, en inglés "*read-only memory*"), una memoria de sólo lectura programable borrable (memoria Flash o EPROM, en inglés "*erasable programmable read-only memory*"), y fibra óptica, una memoria de sólo lectura de disco compacto portable (CD-ROM, en inglés "*compact disk read-only memory*"), un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento magnético, o cualquier combinación de los susodichos. En el contexto de este documento, un medio de almacenamiento de ordenador legible puede ser cualquier medio tangible que puede contener, o almacenar un programa para uso por o en conexión con un sistema, aparato o dispositivo de instrucciones de ejecución.

Un medio de señal de ordenador legible puede incluir una señal de datos propagada con un código de programa de ordenador legible realizado en el mismo, por ejemplo, en banda base o como parte de una onda portadora. Dicha señal propagada puede tomar una de una variedad de formas, incluyendo, pero no limitadas a, electro-magnética, óptica, o cualquier combinación apropiada. Un medio de señal de ordenador legible puede ser cualquier medio de ordenador legible que no es un medio de almacenamiento de ordenador legible y que puede comunicar, propagar, o transportar un programa para uso por o en conexión con un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones.

El código de programa realizado en un medio de ordenador legible se puede transmitir utilizando cualquier medio apropiado, incluyendo pero no limitado a sin cableado, con cableado, con cable de fibra óptica, RF, etc., o cualquier combinación apropiada.

El código de programa de ordenador para llevar a cabo operaciones para aspectos de la presente invención pueden escribirse en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluyendo un lenguaje de programación orientado a objetos tal como Java, Smalltalk, C++ y demás, y lenguajes de programación de procedimiento convencional, tales como el lenguaje de programación "C" o lenguajes de programación similares, un lenguaje tipo scripting tales como Perl, VBS o lenguajes similares, y/o lenguajes funcionales tales como Lisp y ML y lenguajes orientados en lógica tales como Prolog. El código de programa puede ejecutar enteramente en el ordenador del usuario, parcialmente en el ordenador del usuario, como paquete de software que no requiere del sistema operativo para ejecutarse (en inglés "*stand-alone*"), parcialmente en el ordenador del usuario y parcialmente en un ordenador remoto o enteramente en un ordenador remoto o servidor. En el último escenario, el ordenador remoto puede estar conectado al ordenador del usuario mediante cualquier tipo de red, incluyendo una red de área local (LAN, en inglés "*Local Area Network*") o una red general de área ancha (WAN, en inglés "*Wide Area Network*"), o la conexión se puede hacer a un ordenador externo (por ejemplo, a través de internet utilizando un proveedor de servicios de internet).

Se describen aspectos de la presente invención con referencia a las ilustraciones del diagrama de flujo y/o diagramas de bloque de métodos, aparatos (sistemas) y productos de programa de ordenador de acuerdo con las realizaciones de esta invención. Se entenderá que cada bloque de las ilustraciones del diagrama de flujo y/o diagramas de bloque, y combinaciones de los bloques en las ilustraciones del diagrama de flujo y/o bloques de diagramas, se pueden implementar por instrucciones de programa de ordenador. Estas instrucciones de programa de ordenador se pueden proporcionar a un procesador de un ordenador de propósito general, un ordenador de propósito especial, u otros aparatos de procesamiento de datos programables para producir una máquina, de modo que tales instrucciones, que se ejecutan vía el procesador del ordenador u otros aparatos de procesamiento de datos programables, crean medios para la implementación de funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o bloque del diagrama de bloque o bloques.

Estas instrucciones del programa de ordenador pueden también estar almacenadas en un medio de ordenador legible que puede dirigir a un ordenador, otros aparatos de procesamiento de datos programables, u otros dispositivos para funcionar de un manera particular, de manera que las instrucciones almacenadas en el medio de ordenador legible producen un artículo de manufactura incluyendo instrucciones que implementan la función/acto especificado en el diagrama de flujo y/o bloque de diagrama de bloque o bloques.

Las instrucciones del programa de ordenador pueden también cargarse en un ordenador, otros aparatos de

procesamiento de datos programables, u otros dispositivos para causar una serie de pasos operacionales a ejecutarse en el ordenador, otros aparatos programables u otros dispositivos para producir un proceso de ordenador implementado tal que las instrucciones que ejecuta en el ordenador u otros aparatos programables proporciona procesos para implementar las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o bloque de diagrama de bloque o bloques.

El diagrama de flujo o diagramas de bloque en las figuras ilustra la arquitectura, funcionalidad, y operación de posibles implementaciones de sistemas, métodos y productos de programa de ordenador de acuerdo con varias realizaciones de la presente invención. En este sentido, cada bloque del diagrama de flujo o diagramas de bloque puede representar un módulo, segmento, o porción del código, que consta de una o más instrucciones ejecutables para implementar las funciones lógicas especificadas. También se debería tener en cuenta que, en algunas implementaciones alternativas, las funciones anotadas en el bloque pueden ocurrir fuera del orden anotado en las figuras. Por ejemplo, dos bloques mostrados de manera sucesiva pueden, de hecho, ser ejecutadas sustancialmente concurrentemente, o los bloques pueden algunas veces ser ejecutados en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada. También se tendrá en cuenta que cada bloque de los diagramas de bloque y/o ilustración del diagrama de flujo, se puede implementar por sistemas de propósito especial basados en hardware que realizan las funciones o actos específicos, o combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones de ordenador.

El programa de ordenador producto puede constar de todas las respectivas características que permitan la implementación de la metodología descrita en la presente, y que - cuando se carga en un sistema de ordenador - es capaz de llevar a cabo los métodos. Programa de ordenador, programa de software, programa, o software, en el presente contexto significa cualquier expresión, en cualquier lenguaje, código o notación, de un conjunto de instrucciones con el objetivo de causar que un sistema tenga una capacidad de procesamiento de información para ejecutar una función particular ya sea directamente o después de una o ambas de las siguientes: (a) conversión a otro lenguaje, código o notación; y/o (b) reproducción en una forma material distinta.

La terminología utilizada en la presente es para el propósito de describir realizaciones particulares sólo y no se pretende que sea limitante de la invención. Tal y como se utiliza en la presente, las formas singulares "una/o" y "el/la" se supone que incluyen también las formas plurales, a no ser que el contexto claramente indique lo contrario. Se va a considerar que los términos "constar" y/o "constando", cuando se utilizan en esta especificación, especifican la presencia de características, enteros, pasos, operaciones, elementos, y/o componentes establecidos, pero no excluyen la presencia o adición de una o más distintas características, enteros, pasos, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

Las correspondientes estructuras, materiales, actos, y equivalentes de todos los medios o paso más elementos función, si existieran, en las siguientes reivindicaciones se supone incluyen cualquier estructura, material, o acto que ejecuta la función en combinación con otros elementos reivindicados como reivindicados específicamente. La descripción de la presente invención ha sido presentada con el propósito de ilustración y descripción, pero no se pretende que sea exhaustiva o limitada a la invención divulgada de esta forma. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para un experto medio en la materia sin separarse del alcance y espíritu de la invención. La realización fue escogida y descrita con tal de explicar mejor los principios de la invención y la aplicación práctica, y para permitir a otros expertos en la materia entender la invención para varias realizaciones con varias modificaciones estando configuradas para el uso particular contemplado.

Varios aspectos de la presente divulgación pueden ser realizadas como un programa, software, o instrucciones de ordenador realizadas en un ordenador o máquina de medio de utilización o lectura, que hace que el ordenador o la máquina desempeñe los pasos del método cuando se ejecutan en el ordenador, procesador, y/o máquina. También se proporciona un dispositivo de programa de almacenamiento legible por una máquina, tangiblemente incluyendo un programa de instrucciones ejecutable por la máquina para desempeñar varias funcionalidades y métodos descritos en la presente divulgación.

El sistema y método de la presente divulgación puede ser implementado y corrido en un sistema de ordenador de propósito general o de ordenador de propósito especial. Los términos "sistema de ordenador" y "red de ordenador" tal y como se puede utilizar en la presente aplicación puede incluir una variedad de combinaciones de componente de ordenador fijo y/o portátil de hardware, software, periféricos, y dispositivos de almacenamiento. El sistema de ordenador puede que incluya una pluralidad de componentes individuales que están conectados por red, o conectados para ejecutar colaborativamente, o puede que incluyan uno o más componentes individuales. Los componentes de hardware y software del sistema de ordenador de la presente aplicación pueden incluir y pueden estar incluidos en dispositivos fijos y portátiles tales como desktop, laptop, y/o servidores. Un módulo puede ser un componente de un dispositivo, software, programa, o sistema que implementa alguna "funcionalidad", que puede estar realizada como software, hardware, firmware, circuitería electrónica, o etc.

De acuerdo con la realización identificada como realización 1, la invención consta de un método para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes en la gestión de reservorios, comprendiendo:
la generación de un modelo geológico y de reservorio utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo;

- la definición de una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación;
- la creación de una malla numérica que representa el modelo geológico generado y que consta de la delimitación asociada con estratos y regiones geológicas sin restringir la malla numérica a representar de manera explícita las fallas o fracturas;
- 5 la localización de los elementos de la malla numérica que intersectan la o las ubicaciones definidas;
- la discretización de elementos de la malla numérica que no intersectan la o las ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un primer método numérico;
- 10 la discretización de dichos elementos de la malla que intersectan la o las ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico; y la asignación de los elementos de la malla numérica con propiedades de flujo y mecánicas, formando la malla numérica poblada con propiedades un modelo geomecánico a utilizar para la evaluación del impacto de fallas y fracturas existentes
- 15 En una realización 2 de acuerdo con la realización 1, el primer método numérico consta Método de los Elementos Finitos de Galerkin (GFEM, en inglés "*Galerkin Finite Elements Method*").
- En una realización 3 de acuerdo con la realización 1, el segundo método numérico consta de un método numérico que tiene funciones de base enriquecidas para modelar las discontinuidades causadas por dichas fallas y fracturas geológicas embebidas en los elementos de la malla identificados.
- 20 En una realización 4 de acuerdo con la realización 1, el segundo método numérico consta del Método de los Elementos Finitos eXtendidos (XFEM, i.e. en inglés "*eXtented Finite Element Method*").
- 25 En una realización 5 de acuerdo con la realización 1, las propiedades mecánicas constan de propiedades elásticas, plásticas, viscoplásticas y viscoelásticas.
- En una realización 6 de acuerdo con la realización 1, propiedades de flujo constan de permeabilidad y porosidad.
- 30 En una realización 7 de acuerdo con la realización 1, la ubicación de una fallas o fracturas geológica pre-existente o de su combinación se define en base a datos de sísmica o registros de pozo.
- En una realización 8 de acuerdo con la realización 1, el modelo de reservorio y geológico generado contiene el reservorio y las regiones colindantes compuestas de overburden por encima, underburden por debajo, y sideburden a los lados.
- 35 En una realización 9 de acuerdo con la realización 8, cada una de las regiones colindantes tiene propiedades mecánicas asociadas con las respectivas regiones colindantes.
- 40 En una realización 10 de acuerdo con la realización 1, la geometría del modelo de reservorio y geológico se define como una superficie poligonal.
- De acuerdo con una realización identificada como realización 11, la invención consta de un método para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes en la gestión de reservorios, comprendiendo:
- 45 la utilización de una malla numérica para generar un modelo geomecánico, con la malla numérica representando un reservorio geológico y sus regiones colindantes, con la malla numérica comprendiendo la delimitación asociada con las regiones y los estratos de la geología sin restringir la malla a explícitamente representar una falla o fractura.
- 50 la inicialización del modelo geomecánico para definir la tensión-deformación inicial que es compatible con la tensión medida en las ubicaciones de los pozos asociadas con el reservorio geológico;
- la generación de un modelo de flujo de fluido utilizando la malla numérica;
- la resolución de una solución acoplada del modelo de flujo de fluido y geomecánico; y
- la utilización del modelo resuelto de flujo de fluido y geomecánico para evaluar el impacto.
- 55 En una realización 12 de acuerdo con la realización 11, se resuelve primero la solución de flujo de fluido multi-fase para estimar la presión de poro en el reservorio y en las regiones colindantes, la presión se pasa al modelo geomecánico que resuelve el problema de tensión-deformación para calcular una tensión y una deformación en el esqueleto sólido de la roca asociada al reservorio, las propiedades petrofísicas del reservorio geológico se actualizan para el modelo de flujo de fluido a partir del modelo geomecánico.
- 60 En una realización 13 de acuerdo con la realización 12, las propiedades petrofísicas constan de porosidad y permeabilidad.
- 65 En una realización 14 de acuerdo con la realización 12, el traspaso de la estimación de la presión de poro desde el modelo de flujo de fluido al modelo geomecánico y la actualización de las propiedades petrofísicas desde el modelo geomecánico al modelo de flujo de fluido se hace de forma iterativa hasta que la solución acoplada del modelo de

flujo de fluido y geomecánico converge.

En una realización 15 de acuerdo con la realización 11, consta además de la calibración del resultado de la solución acoplada con datos de producción de pozo en el pasado.

5 En una realización 16 de acuerdo con la realización 11, consta además de la utilización de la solución acoplada para predecir el comportamiento futuro del reservorio geológico.

10 En una realización 17 de acuerdo con la realización 11, consta además de la recomendación de estrategias de gestión del reservorio basadas en el análisis de la solución acoplada.

En una realización 18 de acuerdo con la realización 17, dichas estrategias comprenden la potencial apertura o cierre de discontinuidades causadas por dichas fallas o fracturas.

15 De acuerdo con una realización identificada como realización 19, la invención comprende un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa de instrucciones ejecutable por una máquina para desempeñar un método para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes para la gestión de reservorios, comprendiendo:

20 la generación de un modelo geológico y de reservorio utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo;

la definición de una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación;

25 la creación de una malla numérica que representa el modelo geológico generado y que consta de la delimitación asociada con regiones y estratos de geología sin restringir la malla numérica a representar de manera explícita la falla o fractura;

la localización de los elementos de la malla numérica que intersectan la o las ubicaciones definidas;

la discretización de elementos de malla de la malla numérica que no intersectan la o las ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un primer método numérico;

30 la discretización de dichos elementos de malla que intersectan la o las ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico; y

la asignación de los elementos de la malla numérica con propiedades mecánicas y de flujo, formando la malla numérica poblada con propiedades un modelo geomecánico.

35 En una realización 20 de acuerdo con la realización 19, consta además de:

la inicialización del modelo geomecánico para definir la tensión-deformación inicial que es compatible con la tensión medida en las ubicaciones de los pozos asociadas con el modelo geológico y de reservorio;

la generación de un modelo de flujo de fluido utilizando la malla numérica;

la resolución de una solución acoplada del modelo de flujo de fluido y del modelo geomecánico; y

40 la utilización del modelo resuelto de flujo de fluido y geomecánico para evaluar el impacto.

En una realización 21 de acuerdo con la realización 20, el primer método numérico comprende el Método de los Elementos Finitos de Galerkin (GFEM, en inglés Galerkin Finite Elements Method).

45 En una realización 22 de acuerdo con la realización 20, el segundo método numérico comprende el Método de los Elementos Finitos eXtendidos (XFEM, i.e. en inglés eXtented Finite Element Method).

50 En una realización 23 de acuerdo con la realización 20, se resuelve primero la solución de flujo de fluido multi-fase para estimar la presión de poro en el modelo geológico y de reservorio, la presión se pasa al modelo geomecánico que resuelve el problema de tensión-deformación para calcular una tensión y una deformación en el esqueleto sólido de la roca asociada al modelo geológico y de reservorio, y las propiedades petrofísicas del modelo geológico y de reservorio se actualizan para el modelo de flujo de fluido a partir del modelo geomecánico, donde el traspaso de la estimación de la presión de poro desde el modelo de flujo de fluido al modelo geomecánico y la actualización de las propiedades petrofísicas desde el modelo geomecánico al modelo de flujo de fluido se hace de forma iterativa hasta

55 que las soluciones acopladas del modelo de flujo de fluido y geomecánico convergen.

De acuerdo con una realización identificada como realización 24, la invención comprende un sistema para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes en la gestión de reservorios, comprendiendo:

un procesador;

60 un módulo de evaluación del impacto utilizable para la generación de un modelo geológico y de reservorio utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo

el módulo de evaluación del impacto también utilizable para definir una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación

65 el módulo de evaluación de impacto también utilizable para crear una malla numérica que representa el modelo geológico generado que incluye la delimitación asociada con estratos y regiones geológicas sin restringir la malla numérica a representar explícitamente una falla o fractura,

el módulo de evaluación de impacto también utilizable para la identificación de aquellos elementos de la malla numérica que intersectan la una o más ubicaciones definidas,

5 el módulo de evaluación de impacto también utilizable para discretizar elementos de malla de la malla numérica que no intersectan las definidas una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación, de acuerdo con un primer método numérico

el módulo de evaluación de impacto también utilizable para discretizar dichos elementos de la malla identificados que intersectan una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico, y

10 el módulo de evaluación de impacto también utilizable para asignar propiedades mecánicas y de flujo a los elementos de la malla numérica, formando la malla numérica poblada un modelo geomecánico.

En una realización 25 de acuerdo con la realización 24, el módulo de evaluación de impacto también utilizable para la inicialización del modelo geomecánico para definir la tensión-deformación inicial compatible con la tensión medida en las ubicaciones de los pozos asociadas con el modelo geológico y de reservorio, generar un modelo de flujo de fluido utilizando la malla numérica, resolver la solución acoplada del modelo de flujo de fluido y del modelo geomecánico, utilizar la solución del modelo de flujo de fluido y modelo geomecánico para evaluar el impacto.

20 Las realizaciones descritas anteriormente son ejemplos ilustrativos y no se debería interpretar que la presente invención está limitada a estas realizaciones en particular. Así, varios cambios y modificaciones pueden ser introducidas por un experto en la materia sin desviarse del espíritu y del alcance de la invención tal y como se define en las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Método implementado por ordenador para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes para la gestión de reservorios, comprendiendo:
 - 5 generar (102) un modelo geológico y de reservorio utilizando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo; caracterizado por:
 - definir una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación;
 - 10 crear una malla (104) numérica que representa el modelo geológico generado y que comprende la delimitación asociada con regiones y estratos de geología sin restringir la malla numérica a representar explícitamente una falla o fractura;
 - localizar (106) los elementos de malla de la malla numérica que intersectan la una o más ubicaciones definidas;
 - 15 discretizar elementos de malla de la malla numérica que no intersectan la o las ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un primer método numérico;
 - discretizar dichos elementos de malla que intersectan la una o más ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico (110); y
 - 20 asignar (112) propiedades de flujo y mecánicas a los elementos de la malla numérica, formando dicha malla numérica poblada con las propiedades un modelo geomecánico a utilizar para la evaluación del impacto de fallas y fracturas existentes.

2. Método de acuerdo a la reivindicación 1, en el cual el primer método numérico comprende el Método de los Elementos Finitos de Galerkin (GFEM, en inglés Galerkin Finite Elements Method).

3. Método de acuerdo a la reivindicación 1, en el cual el segundo método numérico comprende un método numérico que tiene funciones de base enriquecidas para modelizar las discontinuidades causadas por dichas fallas o fracturas geológicas embebidas en los elementos de la malla localizadas.

4. Método de acuerdo a la reivindicación 1, en el cual segundo método numérico comprende el Método (110) de los Elementos Finitos eXtendidos (XFEM, i.e. en inglés eXtented Finite Element Method).

5. Método de acuerdo a la reivindicación 1, en el cual la ubicación de una fallas o fracturas geológica pre-existente o de su combinación se define en base a datos de sísmica o registros de pozo.

6. Método de acuerdo a la reivindicación 1, en el cual el modelo de reservorio y geológico generado contiene el reservorio y regiones colindantes que comprende sobrecargas, cargas por debajo, y cargas a los lados.

7. Un método para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes en la gestión de reservorios, comprendiendo:
 - 40 utilizar una malla numérica de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones para generar un modelo geomecánico (304), con la malla numérica representando un reservorio geológico y sus regiones colindantes, con la malla numérica comprendiendo la delimitación asociada con las regiones y los estratos de geología sin restringir la malla a explícitamente representar una falla o fractura;
 - 45 inicializar el modelo geomecánico (306) para definir la tensión-deformación inicial que es compatible con la tensión medida en las ubicaciones de los pozos asociadas con el reservorio geológico;
 - generar un modelo de flujo de fluido (302) utilizando la malla numérica;
 - resolver una solución (308) acoplada del modelo de flujo de fluido (312) y geomecánico (310); y
 - utilizar el modelo resuelto de flujo de fluido y geomecánico para evaluar el impacto.

8. Método de acuerdo a la reivindicación 7, en el cual se resuelve primero una solución de flujo de fluido multi-fase para estimar la presión de poro en el reservorio y en las regiones colindantes, la presión de poro se pasa al modelo geomecánico (310) que resuelve un problema de tensión-deformación para calcular una tensión y una deformación en el esqueleto sólido de la roca asociada al reservorio, las propiedades petrofísicas del reservorio geológico a partir del modelo geomecánico (310) se actualizan para el modelo de flujo de fluido (312).

9. Método de acuerdo a la reivindicación 8, en el cual el paso de la presión de poro estimada desde el modelo de flujo de fluido (312) al modelo geomecánico (310) y la actualización de las propiedades petrofísicas desde el modelo geomecánico (310) al modelo de flujo de fluido (312) se hace de forma iterativa hasta que las soluciones acopladas del modelo de flujo de fluido y geomecánico convergen.

10. Método de acuerdo a la reivindicación 7, comprendiendo además calibrar un resultado de la solución acoplada con datos pasados de producción de pozo.

11. Método de acuerdo a la reivindicación 7, comprendiendo además el utilizar la solución acoplada para predecir el comportamiento futuro del reservorio geológico.

12. Método de acuerdo a la reivindicación 11, en el cual dichas estrategias comprenden la potencial apertura o cierre de discontinuidades causadas por dichas fallas o fracturas.

5 13. Un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa de instrucciones ejecutable por una máquina para desempeñar un método para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes para la gestión de reservorios de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12.

10 14. Un sistema para evaluar el impacto de fallas y fracturas existentes en la gestión de reservorios, comprendiendo:
un procesador (12);
un módulo (10) de evaluación del impacto utilizable para la generación (102) de un modelo geológico y de reservorio empleando información de datos sísmicos, registros de pozo, y datos de producción de pozo
el módulo (10) de evaluación del impacto siendo además utilizable para definir una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o su combinación,
15 el módulo (10) de evaluación de impacto siendo además utilizable para crear (104) una malla numérica que representa el modelo geológico generado que comprende la delimitación asociada con regiones y estratos de geología sin restringir la malla numérica a representar explícitamente una falla o fractura,
el módulo (10) de evaluación de impacto siendo además utilizable para la identificación (106) de elementos de la malla numérica que intersectan la una o más ubicaciones definidas,
20 el módulo (10) de evaluación de impacto siendo además utilizable para discretizar elementos de malla de la malla numérica que no intersectan la una o más ubicaciones definidas de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación, de acuerdo con un primer método numérico,
el módulo (10) de evaluación de impacto siendo además utilizable para discretizar dichos elementos de la malla identificados que intersectan una o más ubicaciones de una o más fallas o fracturas geológicas pre-existentes o de su combinación, de acuerdo con un segundo método numérico (110), y
25 el módulo (10) de evaluación de impacto además utilizable para asignar (112) propiedades mecánicas y de flujo a los elementos de la malla numérica, formando dicha malla numérica poblada un modelo geomecánico.

30 15. Sistema de acuerdo a la reivindicación 14, en la que el módulo (10) de evaluación de impacto es además utilizable para inicializar el modelo geomecánico para definir la tensión-deformación inicial compatible con la tensión medida en las ubicaciones de los pozos asociadas con el modelo geológico y de reservorio, generar un modelo de flujo de fluido empleando la malla numérica, resolver una solución acoplada del modelo de flujo de fluido y del modelo geomecánico, utilizar la solución del modelo de flujo de fluido y modelo geomecánico para evaluar el impacto.

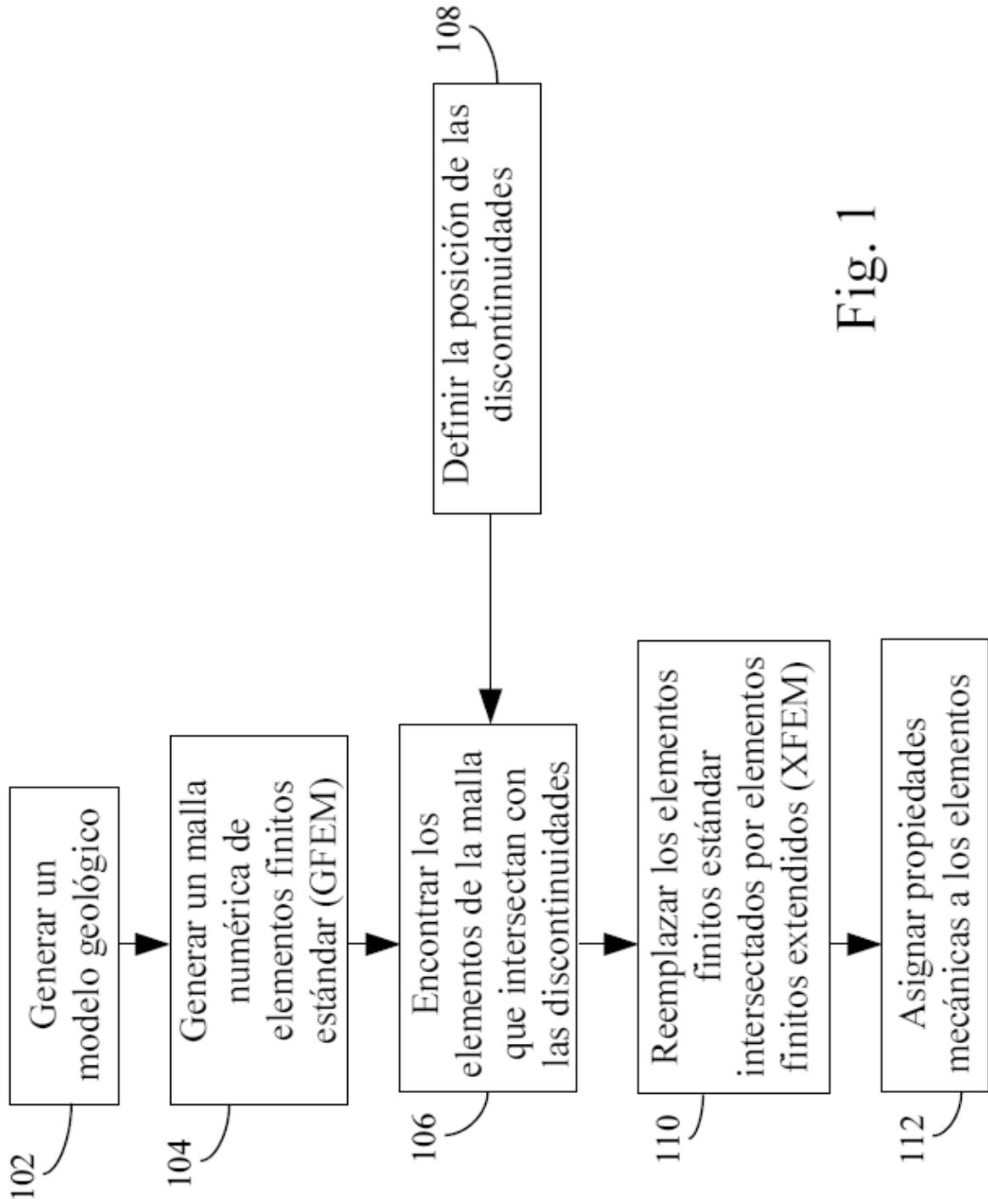


Fig. 1

Fig. 2A

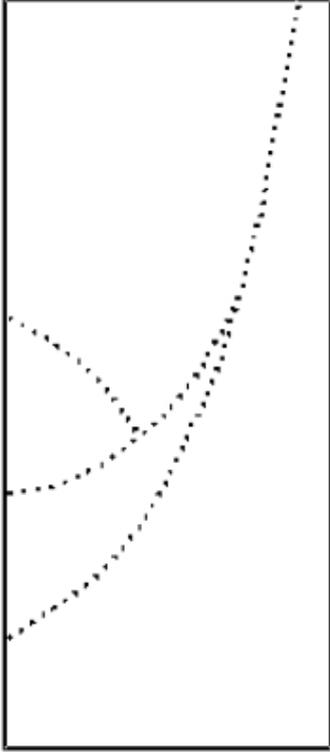


Fig. 2B

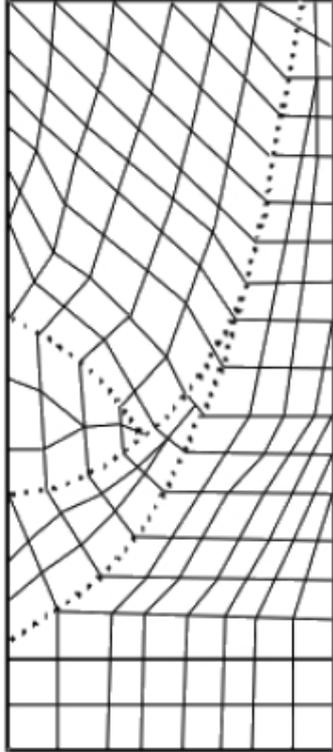
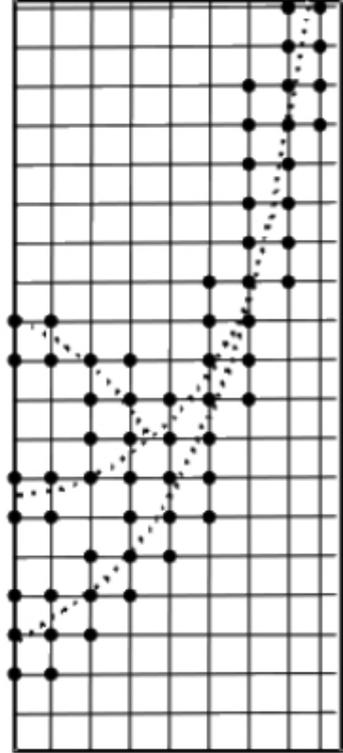


Fig. 2C



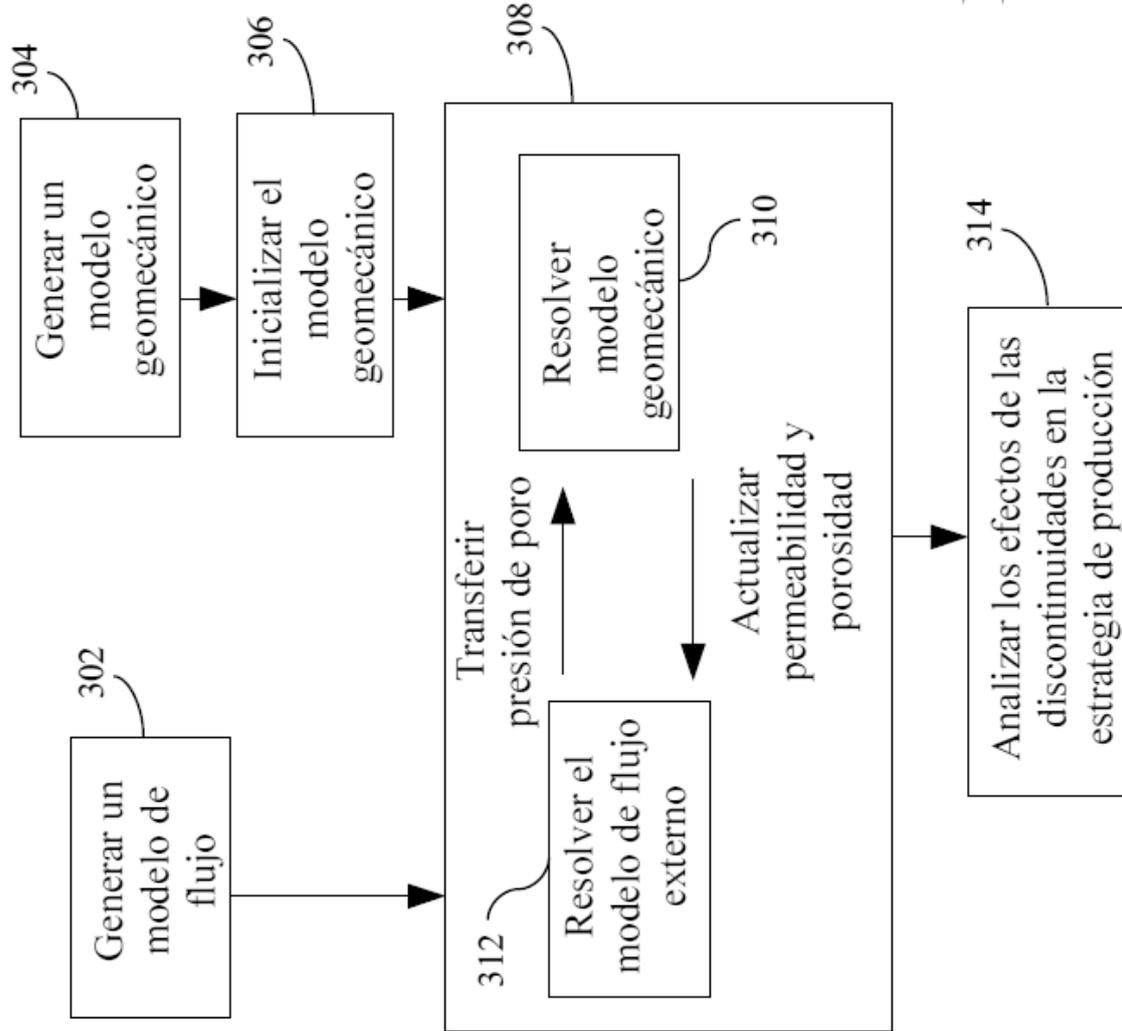


Fig. 3

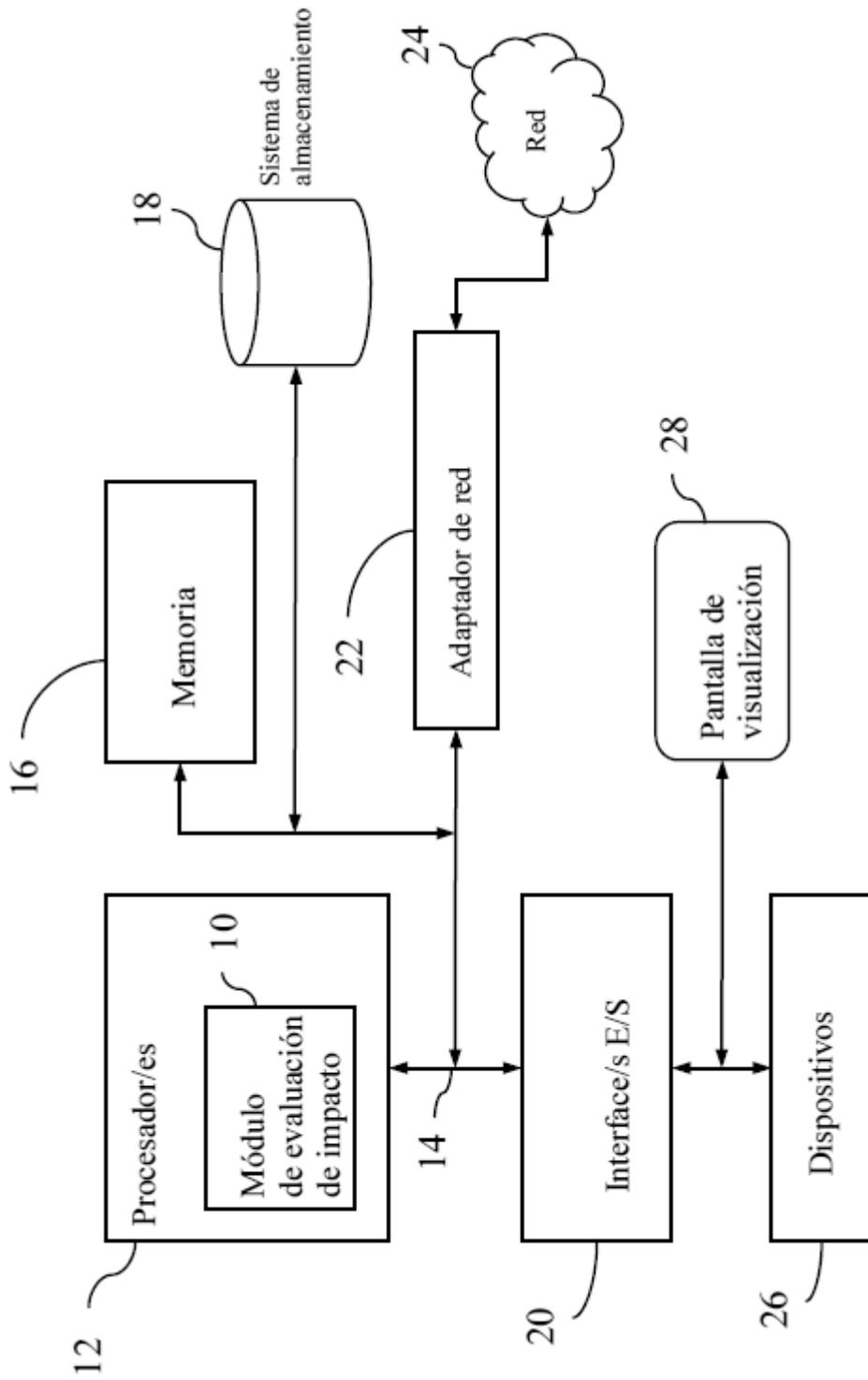


Fig. 4