



No. 14-005028- -00000-0000

Fecha: 2014-01-13 15:26:22
Tra. 11 PATENTE I/II
Act. 411 PRESENTACION

Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Eve: 378 FASE NACIONAL I
Folios: 98

Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

SOLICITUD

PATENTE DE INVENCION

21. EXPEDIENTE No.

54. TITULO: MÉTODO PARA SIMULAR FLUJO DE FASE MÚLTIPLE/COMPONENTE MÚLTIPLE FRACCIONAL A TRAVÉS DE MEDIOS POROSOS

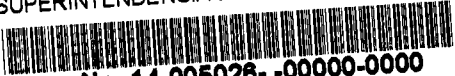
51. CLASIFICACION INTERNACIONAL E21B 47/10

71. SOLICITANTE: INGRAIN, INC.

DOMICILIO: Texas, Estados Unidos de América

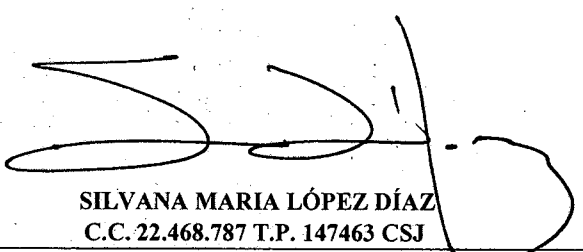
74. APODERADA SILVANA MARIA LÓPEZ DÍAZ

22. BOGOTÁ, D.C.

Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA	SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO  No. 14-005026- -00000-0000 Fecha: 2014-01-13 15:26:22 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI Act. 411 PRESENTACION Folios: 98 97
--	---

DIRECCIÓN DE NUEVAS CREACIONES
SOLICITUD FASE NACIONAL – PCT

1	TIPO DE SOLICITUD	☒ Patente de invención ☒ Capítulo I	☐ Patente de Modelo de Utilidad ☐ Capítulo II
2	DATOS SOLICITUD INTERNACIONAL PCT (86)		
Solicitud Internacional No.		PCT/US2012/045220	Fecha 02 de Julio de 2012
Publicación Internacional No.		WO 2013/009512 A2	Fecha 17 de Enero de 2013
3	TÍTULO DE LA INVENCIÓN (200 caracteres o espacios máximos)		
MÉTODO PARA SIMULAR FLUJO DE FASE MÚLTIPLE/COMPONENTE MÚLTIPLE FRACCIONAL A TRAVÉS DE MEDIOS POROSOS			
4	CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL (CIP) E21B 47/10		
5	SOLICITANTE (S) ☐ Esta persona también es inventor. Para datos adicionales utilizar hoja de información complementaria		
APELLIDOS O RAZÓN SOCIAL		NOMBRE	IDENTIFICACIÓN
INGRAIN, INC.			TIPO
6	DATOS DEL SOLICITANTE		
DIRECCIÓN: 3733 Westheimer Road 2nd Floor Houston,		No. TELÉFONO:	
CIUDAD: Texas 77027,		CORREO ELECTRONICO:	
PAÍS DE RESIDENCIA: Estados Unidos de América		LUGAR DE CONSTITUCIÓN: Estados Unidos de América	
7	INVENTOR (ES)		
APELLIDOS		NOMBRES	NACIONALIDAD
1.DE PRISCO,		Giuseppe	Italiana
2.TOELKE,		Jonas	Alemana
3.MU,		Yaoming	Estadounidense
DIRECCIÓN DE CORREO ELECTRÓNICO:			
8	DATOS INVENTOR (ES)		
DIRECCIÓN		CIUDAD	ESTADO
1.C/o Ingrain, Inc. 3733 Westheimer Road,		2nd Floor Houston,	Texas 77027,
2. C/o Ingrain, Inc. 3733 Westheimer Road,		2nd Floor Houston,	Texas 77027,
3. C/o Ingrain, Inc. 3733 Westheimer Road,		2nd Floor Houston,	Texas 77027,
			PAÍS RESIDENCIA
			Estados Unidos de América
			Estados Unidos de América
			Estados Unidos de América
OTRO(S) SOLICITANTE(S) Y/O (OTRO(S)) INVENTOR(ES)			
☐ Los demás solicitantes y/o (demás) inventores se indican en una hoja a continuación.			
9	☐ REPRESENTANTE LEGAL ☒ APODERADO		
APELLIDOS		NOMBRES	IDENTIFICACIÓN
LÓPEZ DÍAZ		SILVANA MARIA	C.C. 22.468.787 T.P. 147463 CSJ
DIRECCIÓN Cra. 11 No. 86 – 53, Piso 6		No. TELÉFONO 6181088	
CIUDAD Bogotá, D.C.		CORREO ELECTRÓNICO notificaciones@clarkemodet.com.co.	
PAÍS Colombia			
10	DECLARACIONES DE PRIORIDAD ☐ SI ☐ NO		
(33) PAÍS DE ORIGEN		CÓDIGO PAÍS	(31) NÚMERO
Estados Unidos de América		US	61/506.680
			(32) FECHA AAA/MM/DD
			2011/07/12

11	DECLARACIÓN SOBRE USO DE RECURSOS GENÉTICOS O BIOLÓGICOS		
Declaro que el objeto de la presente solicitud de patente fue obtenido a partir de recursos genéticos o biológicos de los que cualquiera de los países miembros de la Comunidad Andina es país de origen.			
☐ SI ☐ NO			
Nota: En caso afirmativo deberá anexar copia del contrato de acceso de recursos genéticos o productos derivados, o certificado o número de registro, expedido por la Autoridad competente.			
12	DECLARACIÓN SOBRE USO DE CONOCIMIENTOS TRADICIONALES		
Declaro que el objeto de la presente solicitud de patente fue obtenido a partir de conocimientos tradicionales de comunidades indígenas, afroamericanas o locales de países miembros de la Comunidad Andina.			
☐ SI ☐ NO			
Nota: En caso afirmativo deberá anexar la licencia o autorización de uso de conocimiento tradicional, o certificado, o número de registro expedido por la Autoridad competente.			
13	REDUCCIÓN DE TASAS		
Declaro que carezco de medios económicos para presentar la solicitud de patente.			
☐ SI ☐ NO			
Nota: En caso de ser persona natural y carecer de medios económicos, y por lo tanto, aplique la reducción de tasas a que se refiere la resolución vigente en tarifas, debe firmar la presente solicitud bajo la gravedad de juramento.			
Micro, pequeñas y medianas empresas☐ Universidades públicas o privadas☐ Entidades sin ánimo de lucro☐			
Debe aportar los documentos que se indican en el numeral 17 de anexos			
14	AUTORIZACIÓN DE NOTIFICACIÓN EN LÍNEA ☐ SI ☐ NO		
Manifiesto que he leído y entendido perfectamente los términos y condiciones de uso de medios electrónicos para las notificaciones en línea a través de Internet de los actos administrativos proferidos por la Superintendencia de Industria y Comercio que deben ser notificados personalmente y, en consecuencia, autorizo el servicio de notificación a través de internet.			
15	COMPROBANTE DE PAGO O PAGO ELECTRÓNICO	Nº 14-001150 14-001524	Fecha 08/01/2014 09/01/2014
16	FIRMA DEL APODERADO :		
 SILVANA MARIA LÓPEZ DÍAZ C.C. 22.468.787 T.P. 147463 CSJ			
17	ANEXOS		
Documentación Técnica Solicitud Internacional en castellano		Documentación Jurídica	
1. ☒ Descripción Nº de folios 70 2. ☒ Reivindicaciones Nº Reivindicaciones: 48 3. ☒ Dibujos y/o figuras Nº folios: 10 4. ☒ Resumen. 5. ☐ Certificado de depósito de material biológico si fuera el caso. 6. ☐ Listado de secuencias de nucleótidos y/o aminoácidos en forma digital si fuera el caso. 7. ☐ Arte final 12 x 12. 8. ☐ Anexo formato digital.		9. ☒ Poderes, si fuera el caso. 10. ☒ Documento que legalmente pruebe la cesión del inventor al solicitante o a su causante. 11. ☐ Copia del contrato de acceso de recursos genéticos o productos derivados, certificado o número de registro, si fuera el caso. 12. ☐ Copia de la licencia o autorización de Conocimientos Tradicionales, certificado o número de registro, si fuera el caso. 13. Reducción de tasas Micro, pequeñas o medianas empresas ☐ Copia simple de la declaración de renta del año inmediatamente anterior, o en su defecto prueba documental idónea. ☐ Documento de constancia de cumplimiento con lo establecido en la ley 905 de 2004. Universidades públicas o privadas ☐ Copia acto de reconocimiento institucional emitido por el Ministerio de Educación Entidades sin ánimo de lucro ☐ Copia de registro vigente en Cámara de comercio. ☐ Hoja de información complementaria. ☐ Otros, especificar 14. ☒ Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud. 15. ☐ Comprobante de pago por reivindicación de prioridad. 16. ☐ Comprobante de pago de la tasa por concepto de excedente de palabras en la publicación. 17. ☒ Comprobante de pago por reivindicación adicional a 10.	

MÉTODO PARA SIMULAR FLUJO DE FASE MÚLTIPLE/COMPONENTE

MÚLTIPLE FRACCIONAL A TRAVÉS DE MEDIOS POROSOS

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un método para
estimar el flujo de fluido de fase múltiple/componente
múltiple a través de medios porosos y para estimar
permeabilidades relativas en varios niveles de saturación.
Pueden usarse datos de permeabilidad relativa estimados con
10 el presente método, por ejemplo, en muchas áreas tales como
simulación del campo petrolífero, relaciones de producción de
gas o aceite estimadas, reservas recuperables estimadas,
estrategias de recuperación de hidrocarburo diseñadas tales
como fractura o "fracturación", ciencias de la vida,
15 fabricación de papel, industria alimentaria, agricultura, y
otras áreas relacionadas con geología y geofísica. La
presente invención también se refiere a un sistema
computarizado y componentes de los mismos para realizar tal
método.

20

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Se usa permeabilidad relativa para cuantificar el flujo
de fase múltiple, tal como el flujo de aceite en presencia de
agua y agua en presencia de aceite. En una muestra con dos
fluidos, las permeabilidades relativas k_m y k_{rw} , por
definición, se dan por las ecuaciones [9] y [10]:

$$k_m = -\frac{Q_n \mu_n}{k_{Absoluto} Adp/dx} \quad [9]$$

$$k_{rw} = -\frac{Q_w \mu_w}{k_{Absoluto} Adp/dx} \quad [10]$$

donde los subíndices "n" y "w" se refieren a fluido no humectante y fluido humectante, respectivamente. Los flujos Q_n y Q_w se miden en saturación fija S_w . La permeabilidad relativa usualmente se grafica contra S_w .

5 La permeabilidad relativa depende de más factores que k_{Absoluto} , incluyendo la humectabilidad del sistema de minerales y fluidos, tensión de superficie interfacial, y contraste de viscosidad entre las fases de fluido, las velocidades de los fluidos, el nivel de saturación del fluido en los poros, la
10 estructura y conectividad de los poros en el sólido poroso y la geometría del espacio del poro. Otro factor importante que influencia la permeabilidad relativa es la historia de tiempo de los flujos que iban a través de los medios porosos. Estos parámetros pueden variar en espacio y tiempo y el estado del
15 fluido resultante y los cambios de composición durante la producción de fluidos.

En un medio poroso, se determina la atracción capilar por la adhesión entre un líquido presente en el cuerpo y el cuerpo por sí mismo y por la fuerza cohesiva del líquido para
20 sí mismo. Un líquido que moja una superficie sólida tiene mayor adhesión al sólido particular que un fluido no humectante. Un fluido puede mojar un sólido y no otro sólido. En el flujo de fluido de fase múltiple, la humectabilidad es una propiedad relativa. Por ejemplo, si la fuerza de adhesión de un primer fluido para un medio poroso es mayor que la fuerza de adhesión de un segundo fluido para un medio poroso, entonces el primer fluido se dice que es humectante y el segundo fluido se dice que es no humectante.

La saturación, S_x , es la fracción de volumen del volumen de poro total en un medio poroso que está ocupado por el material "X". El nivel de saturación es un valor entre 0 y 1. Un nivel de saturación de 1 indica que el espacio del poro disponible completo en un medio poroso dado se rellena por el fluido bajo consideración. Las permeabilidades relativas son una función de saturación de fluido. Ya que la saturación de una fase particular se incrementa, su permeabilidad relativa se incrementa. El historial de saturación también tiene un efecto mayor en permeabilidad relativa. La relación de permeabilidad-saturación relativa exhibe un efecto de histéresis entre el proceso de drenaje (fase humectante disminuida) y proceso de absorción (fase no humectante incrementada). Se cree que la mayoría de las formaciones de roca porosa subterráneas fueron inicialmente rellenas con agua y los hidrocarburos entraron en estas formaciones porosas desplazando parte del agua. Esta historia debe reproducirse o evaluarse antes de que cualquier estimación de permeabilidad relativa se intente de manera que se establecen las condiciones de partida realistas. Las gráficas de absorción y drenaje de permeabilidad relativa contra saturación se muestran en la Figura 1.

Cuando un medio poroso contiene dos o más fluidos inmiscibles, el volumen local de material en cualquier poro particular puede ser diferente del nivel de saturación general o promedio para la muestra de roca porosa completa. Por ejemplo, un fluido puede adherirse fuertemente a las superficies dentro de un poro dado mientras que otro material

puede no tener contacto efectivo con el material sólido. La geometría del espacio del poro local dentro de un medio poroso dado puede variar considerablemente y estas variaciones en geometría pueden efectuar los niveles de saturación locales.

En la práctica, la permeabilidad relativa puede estimarse por pruebas de laboratorio físicas o por simulaciones numéricas.

Uno de los primeros métodos de laboratorio físicos para medir la permeabilidad relativa se describe en la Patente de E.U.A. Número 2,345,935 (Hassler). El método involucra sellar todos menos dos superficies opuestas en una muestra de roca porosa. Un fluido o fluidos bajo presión se introducen en una superficie abierta y se obligan a fluir a través de la muestra en una relación de flujo específica. Las presiones del fluido se generan por bombas o medios similares. Las presiones y relaciones de flujo son entradas para el cálculo de permeabilidad relativa. Una deficiencia de la técnica Hassler es la necesidad de determinar las presiones de fluido humectante internas dentro del medio poroso. Este problema se describe por W. Rose, "Some Problems in Applying the Hassler Relative Permeability Method," 32 J. Petroleum Technology, 1161-63 (Julio, 1980). La Patente de E.U.A. Número 4,506,542 (Rose) describe un aparato y método que no requiere medición de presiones internas para la estimación de permeabilidad relativa.

El método Hassler es un método en régimen permanente que puede usarse para calcular la permeabilidad relativa contra

la saturación para un intervalo completo de saturaciones desde 0 hasta 1. Para dos sistemas de fase de fluidos inmiscibles, la muestra de roca puede primero purgarse con un fluido durante un tiempo suficiente de manera que la saturación en la muestra de roca del fluido seleccionado es 1. Luego el otro fluido o combinaciones de los dos fluidos se obligan a través de la muestra durante un tiempo suficiente para lograr el régimen permanente de los dos flujos Q_n y Q_w . En este punto, las lecturas de flujo y presión pueden usarse para calcular k_n , k_w para un valor dado de S_w y graficado. La relación de fluidos humectantes y no humectantes en la entrada de la muestra luego puede cambiarse. Esta nueva combinación de fluidos humectantes y no humectantes se obliga a través de la muestra durante un tiempo suficiente para lograr el régimen permanente de los dos flujos Q_n y Q_w . Otro par de permeabilidades relativas, k_n , k_w correspondiente a otro valor de S_w , se calculan y otro punto se grafica. Al repetir este procedimiento para diferentes combinaciones de fluidos humectantes y no humectantes, una gráfica de permeabilidad relativa contra saturación puede graficarse como se muestra en la Figura 2.

Otros métodos físicos de régimen permanente para calcular la permeabilidad relativa incluyen el Método de Estado Penn (Snell, R. W., Measurements of gas-phase saturation in a porous medium, J. Inst. Pet., 45 (428), 80, 1959; The Hafford method (Naar, J. et al., Three-phase imbibition relative permeability, Soc. Pet. Eng. J., 12, 254, 1961); el Método Dinámico de Muestra Sencilla (Saraf, D. N.

et al., Three-phase relative permeability measurement using a nuclear magnetic resonance technique for estimating fluid saturations, Soc. Pet. Eng. J., 9, 235, 1967); el Método de Fluido Estacionario (Saraf, D. N. et al., Three-phase
 5 relative permeability measurement using a nuclear magnetic resonance technique for estimating fluid saturations, Soc. Pet. Eng. J., 9, 235, 1967); y el Método de Alimentación Dispersa (Saraf, D. N. et al., Three-phase relative permeability measurement using a nuclear magnetic resonance
 10 technique for estimating fluid saturations, Soc. Pet. Eng. J., 9, 235, 1967).

Otro método, el Método de régimen no permanente, también inicia con la muestra de roca inicialmente saturada con el fluido humectante. Luego el fluido no humectante se obliga a
 15 través de la muestra, la fracción de fluido no humectante recuperado y la presión que caen a través de la muestra se registran y usan para calcular varias combinaciones de k_n , k_w en valores correspondientes de S_w .

Los métodos de laboratorio pueden sufrir de un número de
 20 deficiencias, las cuales pueden incluir una o más de las siguientes:

1. La muestra que se prueba está en el laboratorio en condiciones de superficie mientras que la muestra in-situ puede ser a temperaturas arriba de 100°C y 100-700 bar. Cuando las muestras son llevadas a la superficie muchas propiedades de la roca cambian. Las condiciones artificiales creadas para replicar las condiciones del pozo son difíciles, caras, y/o

imprecisas.

2. Las presiones requeridas para lograr las relaciones de flujo deseadas pueden ser extremadamente altas provocando problemas de fuga y/o mal funcionamiento del equipo.
3. Un volumen grande de fluido debe procesarse para la muestra para acercarse al régimen permanente.
4. Las pruebas pueden tomar un tiempo muy largo hasta semanas o meses o más de un año para completarse.
5. Las formaciones muy herméticas tales como esquistos pueden ser difíciles o imposibles de medir.
6. Las condiciones iniciales tales como saturación, humectabilidad, y distribuciones de fluido son difíciles de establecer.
7. La humectabilidad establecida en el laboratorio es difícil debido a que los núcleos usualmente se limpian antes de la prueba y la humectabilidad inicial no puede restaurarse con precisión.
8. En el laboratorio, es difícil y caro conducir pruebas con fluidos de yacimiento en condiciones de yacimiento. La mezcla de gas y aceite a presiones y temperaturas de yacimiento es difícil y puede ser peligrosa.

Las simulaciones numéricas para calcular la permeabilidad relativa típicamente usan métodos numéricos tales como modelado de red del poro o simulación directa de flujo de fase múltiple/componente múltiple en un medio poroso.

Tal método general para calcular la permeabilidad relativa se describe en la Patente de E.U.A. No. 6,516,080 (Nur). Este método al igual que con la mayoría de los métodos numéricos, se basa en la producción de una
5 representación digital de un medio poroso, de aquí en adelante referido como una "Muestra," para la cual la permeabilidad relativa es para estimarse. La representación digital se produce típicamente por un escáner de rayos X CT y luego se refina para compensar las limitaciones en resolución
10 del escáner. Esta representación junto con propiedades del fluido, propiedades de la roca, saturación inicial, humectabilidad, tensión interfacial y viscosidades se usan como entrada para el algoritmo Boltzmann de entramado. El método de Lattice-Boltzmann es una herramienta para la
15 simulación de flujo, particularmente en medios con la geometría del poro complejo. Ver, por ejemplo, Ladd, Numerical Simulations of Particulate Suspensions via a discretized Boltzmann Equation, Parte 1: Theoretical Foundation, J. Fluid Mech., v 271, 1994, pp. 285-309;
20 Gunstensen et al., "Lattice Boltzmann Model of Immiscible Fluids, Phys. Rev. A., v. 43, no. 8, 15 de Abril de 1991, pp. 4320-4327; Olsen et al., Two-fluid Flow in Sedimentary Rock: Simulation, Transport and Complexity, J. Fluid Mechanics, Vol. 341, 1997, pp. 343-370; y Gustensen et al., Lattice-Boltzmann Studies of Immiscible Two-Phase Flow Through Porous Media," J. of Geophysical Research, V. 98, No. B 4, 10 de Abril de 1993, pp. 6431-6441). El método Lattice-Boltzmann simula el movimiento del fluido como colisiones de partículas

imaginarias, las cuales son mucho más grandes que las moléculas de fluido actuales, pero en donde tales partículas muestran casi el mismo comportamiento a una escala macroscópica. El algoritmo usado en el método Lattice-Boltzmann repite las colisiones de estas partículas imaginarias hasta que el régimen permanente se alcance, y proporciona una distribución de flujo de masa local.

La precisión de métodos numéricos para calcular la permeabilidad relativa tal como el método Nur depende en parte de la precisión de la muestra. La muestra se hace de elementos discretos llamados vóxeles. Los vóxeles son píxeles volumétricos. Una representación digital de un objeto tridimensional puede sub-dividirse en vóxeles. De forma ideal, cada vóxel se clasifica exactamente como ya sea sólido o poro. La elección entre sólido o poro puede no siempre ser clara debido a las diferencias en la resolución del escaneo y el tamaño mínimo de los granos en el medio poroso. Si un vóxel se clasifica como sólido, la naturaleza o composición del sólido también debe conocerse o determinarse con objeto de modelar y hacer numéricamente los estimados de sus propiedades físicas.

Además, la precisión de los métodos numéricos para calcular la permeabilidad relativa también depende de los métodos numéricos aplicados. La robustez de estos métodos puede depender de cómo se manejen las condiciones de límite en el algoritmo. Pudo haber condiciones de límite de entrada y salida, las condiciones de límite en la parte superior, inferior, izquierda o derecha de la muestra y las condiciones

de límite en el interior del medio poroso. Lo último incluye efectos en la humectabilidad especialmente cuando se presentan flujos fraccionales relativamente pequeños de un fluido o el otro. Las condiciones de límite son un problema
5 completamente complejo en métodos numéricos. La selección de las condiciones de límite pueden afectar significativamente el tiempo requeridos para el cálculo, la precisión de los resultados y la estabilidad de la simulación. Esto puede ser especialmente verdadero para simulaciones de fase múltiple o
10 componente múltiple inmiscibles. Las dificultades pueden surgir del hecho de que la presión y distribución de las fases y velocidades en la entrada de la simulación digital se desconocen y estas condiciones deberían establecerse de manera que imiten las condiciones físicas. No hubo forma
15 única ni estandarizada de ajustar las condiciones de límite apropiadas y muchos autores proponen su propia solución. Las condiciones de límite elegidas pueden ser de importancia primaria ya que significativamente pueden afectar la precisión numérica de la simulación y también su estabilidad.

20 Los métodos numéricos pueden tener ventajas sobre los métodos de laboratorio, tales como en una o más de las siguientes formas.

1. Debido a que las simulaciones numéricas son virtuales, que no requieren la presencia física tal como fluidos del pozo en condiciones del pozo. En el caso de permeabilidad relativa en formaciones de aceite y gas, los hidrocarburos a altas temperaturas y presiones, a menudo arriba del punto crítico, son difíciles de controlar y

peligrosos de manejar.

2. Debido a que las simulaciones numéricas pueden acelerar la escala en tiempo usada, las simulaciones numéricas pueden completarse en una materia de horas o días en lugar de semanas, meses, o más. Debido a esto, más variaciones en flujo y composición de fluido pueden procesarse usando métodos numéricos que son prácticos en pruebas de laboratorio.

3. Las simulaciones numéricas tienen la ventaja de que las propiedades de cualquier componente pueden calcularse exactamente en cualquier ubicación y en cualquier momento.

Los métodos numéricos también pueden sufrir algunas desventajas, incluyendo una o más de las siguientes:

1. Las condiciones de límite e iniciales son difíciles o imposibles de evaluar lo que resulta en incapacidad en algunos casos para calcular exactamente permeabilidades relativas o inestabilidad en el cálculo. Esto es especialmente verdadero cuando el flujo fraccional de uno o más componentes es pequeño.
2. La distribución de humectabilidad en espacio y tiempo dentro de un medio poroso es difícil de evaluar.

Los presentes investigadores han reconocido que existe una necesidad para nuevos métodos y sistemas para simular el flujo de fluido de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de medios porosos para proporcionar, por ejemplo, estimados y evaluaciones mejoradas de la productividad potencial de un campo petrolero u otro yacimiento subterráneo, y/o que pueden proporcionar estimados

modelados mejorados de flujo de fluido de componente múltiple, fase múltiple a través de otros tipos de medios porosos.

5

SUMARIO DE LA INVENCION

Una característica de la presente invención es un método para calcular o estimar flujo de fluido de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de medios porosos.

10

Una característica adicional de la presente invención es un método para calcular o estimar permeabilidad relativa para flujo de fluido de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de medios porosos.

15

Otra característica de la presente invención es un método para ajustar las condiciones de límite para métodos numéricos, por ejemplo, para simulaciones dinámicas de fluido computacional (CFD), que representan más exactamente condiciones del mundo real y mejora la estabilidad y velocidad de cálculo.

20

Aún otra característica de la presente invención es un método para ajustar las presiones de entrada para cálculos CFD para lograr el flujo fraccional dirigido a través de un medio poroso.

Una característica adicional de la presente invención es un método para calcular o estimar flujo de fluido de componente múltiple, fase múltiple a través de medios porosos bajo condiciones donde la fracción de fluido humectante o no humectante es baja.

Una característica adicional de la presente invención es un método para calcular o estimar la permeabilidad relativa contra saturación para absorción y drenaje.

Una característica adicional de la presente invención es
5 un método para calcular o estimar la permeabilidad relativa contra curvas de saturación incluyendo puntos de datos donde el nivel de saturación es bajo.

Una característica adicional de la presente invención es un método para usar las permeabilidades relativas estimadas o
10 calculadas para evaluar un yacimiento de aceite subterráneo u otro tipo de medios porosos.

Para lograr estas y otras ventajas y de acuerdo con los propósitos de la presente invención, como se incorpora y describe ampliamente en la presente, la presente invención se
15 refiere, en parte, a un método para simular flujo fraccional de fluidos humectantes y fluidos no humectantes a través de medio poroso que comprende las etapas de (a) crear una representación digital tridimensional de un medio poroso ("Muestra") que contiene un volumen total de fluidos que
20 comprenden fluidos humectantes y fluidos no humectantes, (b) definir una primera fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos humectantes y una segunda fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos no humectantes, (c) definir un valor para una relación de flujo del volumen total de fluidos que fluyen a través de la muestra, (d) evaluar las propiedades de los fluidos humectantes y los fluidos no humectantes, (e) definir las condiciones iniciales para saturación de los fluidos

humectantes (S_w), saturación de los fluidos no humectantes (S_n), presión de entrada de los fluidos humectantes (P_w) y presión de entrada de los fluidos no humectantes (P_n), (f) ajustar las condiciones en el frente de la entrada de la muestra en donde los fluidos no humectantes y fluidos humectantes entran en los poros de la muestra en áreas separadas y distintas, y (g) calcular las presiones, saturación, y vectores de velocidad internos a la muestra, (h) calcular las relaciones de flujo de los fluidos no humectantes (Q_n) a través de la muestra, relaciones de flujo de los fluidos humectantes (Q_w) a través de la muestra, y presión en la salida de la muestra, (i) repetir las etapas a) a través de h) durante un número predefinido de incrementos en tiempo, t , y (j) ajustar periódicamente las presiones de entrada P_n y P_w usando un algoritmo de control de retroalimentación en donde se alcanzan valores de estado cuasi-permanente para Q_n y Q_w .

La presente invención también se refiere a un sistema que calcula o determina o estima el flujo de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de un medio poroso que comprende (a) un escáner capaz de producir una imagen digital tridimensional de un medio poroso, (b) una computadora que comprende al menos un procesador operable para ejecutar un programa de computadora capaz de clasificar elementos en la imagen digital tridimensional como sólido (grano) y poro (vacío), (c) una computadora que comprende al menos un procesador operable para ejecutar un programa de computadora capaz de realizar los cálculos indicados, y (d)

al menos un dispositivo para mostrar, imprimir, o almacenar los resultados de los cálculos.

La presente invención también se refiere a un producto de programa de computadora en un medio legible en computadora
5 que, cuando se realiza en un controlador en un dispositivo computarizado proporciona un método para realizar uno o más o todos los cálculos indicados.

La presente invención también se refiere al uso del método y/o sistema indicado para calcular o estimar flujo de
10 fluido fraccional de fase múltiple/componente múltiple a través de medios porosos de un yacimiento subterráneo, tal como un yacimiento de aceite subterráneo, y para calcular o estimar permeabilidades relativas en varios niveles de saturación, y uso de las permeabilidades relativas estimadas
15 o calculadas para proporcionar estimados y evaluaciones mejoradas de la productividad del yacimiento subterráneo. Los métodos y sistemas de la presente invención también pueden usarse para proporcionar evaluaciones numéricamente modeladas de flujo de fluido fraccional de fase múltiple/componente
20 múltiple a través de otro tipo de medios porosos.

Es para entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son ejemplares y explicativos únicamente y se pretenden para proporcionar una explicación adicional de la presente invención, como se reivindica.

Las figuras acompañantes, que se incorporan en y constituyen una parte de esta solicitud, ilustran algunas de las características de la presente invención y junto con la

descripción, sirven para explicar los principios de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5 La Figura 1 muestra una gráfica representativa de un efecto de histéresis en permeabilidad relativa bajo absorción y drenaje.

10 La Figura 2 es una gráfica representativa de permeabilidad relativa para fluidos humectantes y no humectantes en niveles de saturación en el intervalo desde 0 hasta 1.

15 La Figura 3 es un esquema que es representativo de métodos de laboratorio físicos, tanto el régimen permanente como régimen no permanente, que puede usarse para calcular o estimar flujo de componente múltiple y fase múltiple a través de un medio poroso.

20 La Figura 4 es un diagrama de flujo que muestra como se ajustan las condiciones iniciales para la simulación, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

20 Las Figuras 5a-5f muestran diversas vistas del frente de entrada de la muestra con el área de poro dividido en sub-áreas para fluidos humectantes y no humectantes, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

 Las Figuras 6a y 6b muestran el detalle del frente de entrada de la muestra con el área de poro dividida en sub-áreas para fluidos humectantes y no humectantes, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

 La Figura 7 es un diagrama de flujo de proceso de un

método de simulación numérico para calcular o estimar las propiedades de transporte del fluido incluyendo permeabilidades relativas y saturaciones de un medio poroso, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

5 Las Figuras 8a y 8b son diagramas que resumen el esquema de control de proceso para el flujo de fluido humectante y no humectante, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

10 La Figura 9 muestra un sistema que integra el análisis de formación de imágenes de escaneo tridimensional (3D) de un medio poroso con un método dinámico de fluido computacional (CFD) aplicado a una representación digital 3D del medio poroso, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

15 La Figura 10 muestra una fotografía representativa de una muestra de carbonato que incluye un pilar de 4 mm de diámetro marcado por un rectángulo que se molió fuera de la muestra y formó en imágenes en un escáner CT, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

20 La Figura 11 muestra una imagen escaneada representativa con el escáner CT del área seleccionada de la muestra de carbonato indicado en la Figura 10, de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

La Figura 12 muestra una gráfica representativa de permeabilidad relativa y valores de saturación de agua usando un método de acuerdo con un ejemplo de la presente solicitud.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA PRESENTE INVENCION

La presente invención se refiere en parte a un método

para calcular flujo de fase múltiple/componente múltiple, fraccional a través de un medio poroso que emplea una representación digital tridimensional (3D) de un medio poroso integrado con un método dinámico de fluido computacional (CFD) para calcular relaciones de flujo, presiones, saturaciones, vectores de velocidad internos, y/u otros parámetros de flujo que pueden proporcionar determinaciones mejoradas, por ejemplo, determinaciones más rápidas y/o exactas, de propiedades del transporte de fluido del medio poroso, tal como calcular o estimar permeabilidad relativa contra la saturación para absorción y/o drenaje. Estas determinaciones pueden hacerse sin la necesidad de experimentos de laboratorio que consuman tiempo y sean caros en muestras físicas del medio poroso. El método puede emplear un método único para estimular la introducción de fluidos humectantes y no humectantes en los poros en el frente de la entrada de la representación digital 3D de un medio poroso y una aplicación de control de proceso para lograr flujo de estado cuasi-permanente en concentraciones de entrada bajas de fluido no humectante. Además, el método de la presente invención reduce el tiempo requerido para completar los cálculos dinámicos de fluido. Los valores resultantes de flujo de fluido no humectante, fluido humectante, saturación y otros parámetros pueden usarse para generar gráficas de curvas de drenaje e absorción e permeabilidad relativa. La capacidad para hacer estos tipos de determinaciones en el fluido transporta características de los medios porosos puede mejorar la precisión de costo y hacer la decisión técnica con

respecto a la producción en los medios porosos. Los programas de computadora y sistemas computarizados para realizar el método también se proporcionan.

El método de la presente invención puede usarse para
5 calcular el flujo de fluidos inmiscibles, de fase múltiple a través de medios porosos, tales como se muestran esquemáticamente en la Figura 3. Para propósitos de esta invención, el término "fase múltiple" se refiere a fases múltiples de un elemento del compuesto tal como líquido y
10 vapor y para compuestos múltiples en una mezcla tal como aceite y agua. Los fluidos se categorizan como fluidos humectantes y fluidos no humectantes. Los fluidos humectantes son aquellos fluidos que tienden a cubrir o adherirse a la superficie interior de los poros en el medio
15 poroso. La humectabilidad es la tendencia de un fluido para extenderse, o adherirse a, una superficie sólida en presencia de otros fluidos inmiscibles. La humectabilidad se define por el ángulo de contacto del fluido con la fase sólida. Un ejemplo de la presente invención describe un sistema que
20 comprende un fluido humectante y un fluido no humectante. Sin embargo, los métodos descritos en la presente pueden aplicarse a sistemas que comprenden fluidos no humectantes y/o humectantes múltiples. El medio poroso al cual los métodos descritos en la presente pueden aplicarse no se limita necesariamente. El medio poroso puede comprender, por ejemplo, rocas; tierras; zeolitas; tejidos biológicos tales como huesos, madera, corcho y materiales similares; cementos; cerámica; partículas sólidas compactas tales como arena,

arcilla, roca, cerámica, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos, metales y materiales similares; materiales sintéticos tales como polímeros; y otros materiales similares.

5 En las siguientes descripciones, las referencias para los números en paréntesis (1) hasta (13) se refieren a los cuadros con número correspondientemente mostrados en la Figura 4, las referencias para el número en paréntesis (14) se refiere a los cuadros con número correspondientemente mostrados en las Figuras 4 y 7, y las referencias para los
10 números en paréntesis (15) hasta (34) se refieren a los cuadros con número correspondientemente mostrados en la Figura 7. Con referencia a la Figura 4, una muestra física de un medio poroso puede escanearse (5) con un dispositivo
15 capaz de producir una representación digital tridimensional (3D) de la estructura porosa de la muestra. La fuente de la muestra, tal como en el caso de una muestra de formación de roca, no se limita particularmente. Para las muestras de formación de roca, por ejemplo, la muestra puede ser núcleos
20 de pared lateral, núcleos completos, recortes de perforación, muestras de cantera de afloramiento, u otras fuentes de muestra que pueden proporcionar muestras adecuadas para análisis usando métodos de acuerdo con la presente invención. Los dispositivos tales como un escáner CT pueden usarse para este propósito donde la muestra se expone a rayos X de una frecuencia particular. La frecuencia determina la resolución del escaneo. Los ejemplos de escáneres CT adecuados para hacer imágenes utilizables con métodos de acuerdo con la

presente invención incluyen, por ejemplo, microscopias de transmisión de rayos X topográficas en 3D, tales como MicroXCT-200 y Ultra XRM-L200 CT, que se hacen por Xradia, Inc. (Concord, California EUA). Para medios porosos de grano muy fino tales como esquistos, los escaneos pueden realizarse en un microscopio de electrones de escaneo, SEM. El software complementado con la máquina de escaneo topográficamente reconstruye el volumen 3D en una configuración ordenada de vóxeles.

10 El proceso de segmentación (6) clasifica vóxeles individuales como ya sea sólidos o poro. Una representación digital tridimensional pueden crearse de la muestra (medio poroso), por ejemplo, que comprende planos ordenados, múltiples de vóxeles en donde cada uno de los vóxeles puede
15 representar un poro (vóxel de poro) o sólido (vóxel de grano). Puede haber más de una clase de materiales en el medio poroso. El proceso de segmentación es necesario debido a la resolución del escáner como se compara con el tamaño de los granos y poros en el medio poroso. Un número de métodos
20 para segmentar la representación a escala en grises en 3D puede usarse para este propósito. Tal método, por ejemplo, se describe por Nur en la Patente de E.U.A. No. 6,516,080, que se incorpora en la presente como referencia en su totalidad. Otro proceso de segmentación y la escala de grises que puede adaptarse para uso en los métodos presentes es la Publicación de Solicitud de Patente de E.U.A. No. 2010/0128932 A1, que se incorpora en la presente como referencia en su totalidad. Cualquier método capaz de

producir una representación en 3D digital de un medio poroso puede ser suficiente para la presente invención. Después de la segmentación en imagen (6), cada poro en el frente de entrada puede dividirse en áreas anulares y centrales aisladas e iguales (regiones) (7), y la muestra se inunda inicialmente con el fluido humectante (8), como se describe en detalle adicional en discusiones de otras figuras relacionadas proporcionadas en la presente.

Los ajustes iniciales (14) se muestran en la Figura 4.

En la presente invención, el método CFD usado puede ser el método de cuadrícula de Boltzmann u otros métodos. Diversos índices pueden usarse en el método para controlar las acciones tomadas en la simulación. El parámetro y es un índice para el número de combinaciones fluido humectante/no humectante para correrse en la simulación. Inicialmente el índice y se ajusta hasta 1 de manera que se señala en la primera composición para simularse (1). El parámetro t es un índice para el número de etapas de tiempo en la simulación. t se ajusta inicialmente hasta 1 (2). El parámetro q es un índice para el número de etapas de tiempo en cuya acción de control retroalimentación tomara lugar, y q se ajusta inicialmente hasta 1 (3). El parámetro t_{max} (4) es un valor para el número máximo de etapas de tiempo para completarse para cada combinación de fluidos humectantes y no humectantes para correrse a través de la simulación. Las propiedades del fluido se requieren para el cálculo de flujos de fluido y para cálculo de permeabilidad relativa (10). Las propiedades de los fluidos humectantes y fluidos no humectantes que

pueden usarse en los cálculos pueden comprender, por ejemplo, viscosidad, ángulo de contacto, tensión interfacial y otras propiedades físicas o químicas. Los valores de viscosidad del fluido humectante, μ_w , viscosidad del fluido no humectante, μ_n , tensión interfacial, σ , y ángulo de contacto se ajustan. Como también como se muestra en la Figura 4, un valor inicial para P_w , la presión ejercida sobre el fluido humectante, y P_n , la presión ejercida sobre el fluido no humectante, se ingresan (9). Los valores para la fracción de fluido no humectante F_n y fluido humectante F_w que ingresan en el frente de entrada de la muestra, también se ajustan inicialmente (11). El usuario ingresa una relación de flujo deseada total, Q_T , típicamente medida en metros por segundo o pies por días o cualesquiera otras unidades deseadas, para obligarse a través de la muestra (13), y se determinan los valores Q_{wt} y Q_{nt} iniciales (12), que son relaciones de flujo calculadas de fluidos humectantes y no humectantes, respectivamente.

Como se muestra en la Figura 3, una muestra (60) se somete a una condición límite de pared como se representa por las líneas negras gruesas (61) de manera que un fluido de fase múltiple puede obligarse a través de la muestra por un gradiente de presión (62). La muestra puede comprender un frente de entrada y un frente de salida en donde los frentes de entrada y salida son paralelos uno con el otro y tres o más superficies ortogonales al frente de entrada y el frente de salida en donde las tres o más superficies ortogonales son impermeables para fluir de los fluidos humectantes y los

fluidos no humectantes. Debido a que el fluido humectante y fluido no humectante ingresa en la muestra puede ser a diferentes presiones, puede ocurrir una condición de flujo de retorno externa en la entrada donde algún fluido puede salir de la muestra. En el caso donde ocurre una condición de flujo de retorno, una región o zona amortiguadora (63) en la entrada de muestra puede usarse para eliminar el flujo de retorno externo. La región o zona amortiguadora puede alterar los cálculos para al menos 1 o 2 o 3 o más capas de vóxeles que hacen que la muestra inicie del frente de entrada. Por ejemplo, el frente de entrada puede comprender una zona amortiguadora paralela al frente de entrada que comprende un plano de vóxel, 2 planos de vóxel, 3 planos de vóxel o más. La muestra se usa en un cálculo dinámico de fluido computacional para estimar relaciones de flujo del fluido humectante y no humectante a través de la muestra y para calcular la permeabilidad relativa del medio poroso para saturaciones específicas en el interior de la muestra.

Con referencia a la Figura 7, una vez que se han establecidos los ajustes iniciales (17), tales como los descritos con respecto a los ajustes (14) mostrados en la Figura 4, la simulación puede comenzar al calcular las relaciones de flujo de fluidos humectantes y no humectantes, presiones, niveles de saturación, vectores de velocidad y otras propiedades para todos los puntos ubicados en la muestra usando cálculos dinámicos de fluido computacional (CFD) (16). Los cálculos CFD se repiten para un número discreto de intervalos de tiempo, t (15). En los intervalos

de tiempo específicos, mostrados como $t = M(q)$ (21), los valores de flujo de fluido humectante y no humectante se almacenan (22) y un flujo promedio ponderado para los fluidos humectantes y no humectantes se calculan y almacenan (18).

5 Los flujos de fluido de promedio ponderados se comparan con los valores de punto ajustados o deseado de flujo de fluido humectante y flujo de fluido no humectante para producir un error (19) que luego se usa para calcular nuevos valores de la presión de fluido humectante y presión de fluido no

10 humectante en el frente de la entrada de la muestra (20). Hasta que t_{max} se alcanza (24), un índice se avanza hasta el punto para el siguiente tiempo que los cálculos de control de retroalimentación deberían hacerse (23), y las nuevas presiones para fluido humectante y fluido no humectante en la

15 entrada se colocan en los cálculos CFD (25). Por ejemplo, se hace una verificación para observar si la simulación ha alcanzado el estado cuasi-permanente, por ejemplo, al verificar para ver si el número máximo pre-definido de tiempo incrementa, t_{max} , se ha alcanzado (24), o por otros métodos

20 indicados en la presente. Si t_{max} se ha alcanzado, los valores calculados de flujos promedio ponderados de fluidos humectantes y no humectantes así como otras propiedades tales como saturación de fluido pueden almacenarse en este punto (32) y usarse para calcular otras propiedades de interés tales como permeabilidad relativa (33). Esta simulación puede opcionalmente continuar para un número de composiciones adicionales de fluidos humectantes y no humectantes para obligarse a través de la muestra (30), (31). Los nuevos

valores para la fracción de fluido humectante, F_w , y fluido no humectante, F_n , que ingresan en el frente de entrada de la muestra, pueden seleccionarse (29) y nuevos puntos de ajuste de flujo para fluido humectante y fluido no humectante calculados (28). Cuando la fracción de fluido humectante y fluido no humectante cambia, el área de poro de entrada fraccional usada para fluido humectante y no humectante puede cambiarse (27). La fracción de área de poro de entrada para fluido humectante y fluido no humectante es una función de la fracción de fluido no humectante que ingresa en el frente de entrada de la muestra. En general, el área fraccional para el fluido no humectante deberá disminuirse cuando la fracción de fluido no humectante que ingresa en el frente de entrada de la muestra es menor que alrededor de 10% en volumen, o menor que alrededor de 20% en volumen, o menor que 30% en volumen. En el caso donde las combinaciones múltiples de fluidos humectantes y no humectantes se obligan a través de la muestra, la permeabilidad relativa contra curvas de saturación puede graficarse (34).

Como un ejemplo, la presente invención simula el flujo de dos fases a través de medios porosos. Las Figuras 5a-5f muestra seis imágenes, respectivamente, del frente de entrada de la muestra. En la Figura 5a los poros en el frente de entrada se rellenan con el fluido no humectante mostrado en sombreado más oscuro 52. Si un fluido no humectante o fluido de dos fases luego se obliga a través de la muestra, la distribución de fluido humectante y no humectante en el frente de entrada es crítico para la simulación CFD que

produce un resultado representativo y también crítico para lograr el flujo de estado cuasi-permanente a través de la muestra. Una de las condiciones de entrada requeridas para la simulación CFD es el área de los poros en el frente de entrada que se asigna para el flujo de fluido humectante y el área de los poros en el frente de entrada que se asigna para flujo de fluido no humectante y la distribución de las áreas para flujo de fluido humectante y flujo de fluido no humectante. En la presente invención, el área para fluido humectante en la entrada se distribuye primero en el frente interno de los poros como una capa sencilla de vóxeles en la Muestra digital como se muestra en las áreas blancas 53 en las Figuras 5b-5f. El porcentaje del área de fluido humectante puede incrementarse al agregar más vóxeles en una manera en capas. Las Figuras 5a a través de 5f muestran área incrementada para el fluido humectante hasta alrededor de 50% que se representa en la Figura 5f.

El frente de entrada (70) de la muestra se muestra en las Figuras 6a y 6b. Los fluidos no humectantes y los fluidos humectantes pueden ingresar la muestra a través de los poros en el frente de entrada de la muestra. La imagen en el lado izquierdo es la muestra como se muestra en la Figura 5a y la imagen en el lado derecho es la misma como se muestra en la Figura 5f. La imagen en la Figura 6a a la izquierda muestra una roca porosa en la cual los poros rellenos con fluido no humectante se muestran en sombreado más oscuro. Los granos o roca sólida (76) se muestran en sombreado intermedio. El frente de la muestra tiene poros

(71) a través de los cuales un fluido de dos fases ingresa a la muestra. Cada área de poro se divide en sub-áreas. Un área (73) representa el área anular, A_w , a través de la cual el fluido humectante fluye. Una segunda área, A_n , (72) 5 representa el área central a través de la cual el fluido no humectante fluye. Debido a que la imagen es digital, la creación del área, A_w , se hace al seleccionar vóxeles adyacentes a los granos y designados a los mismos como un área para fluido humectante. Esto es una representación 10 exacta del mundo real ya que el fluido humectante tiene una atracción a las superficies sólidas en la roca. Los vóxeles están en capas iniciando con los vóxeles más cercanos a los primeros límites del grano. Los vóxeles restantes (72) se designan como A_n . Esto también es una representación exacta 15 del mundo real debido a que el fluido no humectante es inmiscible con el fluido humectante y tensión de superficie y la presión capilar forzará el fluido no humectante en el espacio interior del poro y lejos de la superficie sólida. Se observa el área del frente de la muestra etiquetado (75). 20 Esto es un ejemplo del carácter 3D de esta separación. El frente de entrada de la muestra es un tira digital del medio poroso. Inmediatamente detrás del frente de entrada es otro plano. Una ubicación (75), el plano detrás del frente de entrada es un sólido o roca en la ubicación (75) así el área en tal ubicación se vuelve efectivamente un área para el flujo de entrada de fluido humectante. Esta área (75) se define exactamente de la misma manera, por vóxeles en capa designados como A_w en el límite del grano, pero en este caso,

el límite del grano está en la dirección perpendicular al frente de entrada de la muestra. Las dos áreas A_n y A_w se separan por un límite (74) de manera que los dos fluidos se desacoplan. Las dos áreas (72) y (73) se ajustan inicialmente aproximadamente igual una con la otra. En este caso la porción del centro del área fraccional de los poros en el frente de entrada, A_n , y el área fraccional de la porción anular de los poros en el frente de entrada, A_w , son aproximadamente iguales. Así, en este caso inicial, A_n es alrededor de 0.5 y A_w es alrededor de 0.5. La relación de estas dos áreas puede ajustarse para compensar la condición cuando la relación de flujo de fluido no humectante es menor que alrededor de 50% en volumen del flujo total a través de la muestra o menor que alrededor de 10% en volumen del flujo total a través de la muestra o menor que alrededor de 1% en volumen del flujo total a través de la muestra. En el caso donde una fase sencilla se inyecta en la muestra, el área A_n se ajusta hasta 1 en el caso de un fluido no humectante y el área A_w se ajusta hasta 1 en el caso de un fluido humectante. Los inventores han encontrado que ajustar y controlar la relación A_n hasta A_w resulta en convergencia de los cálculos CFD usados para calcular el flujo fracción en diferentes niveles de saturación.

La muestra se inunda inicialmente con ya sea el fluido humectante o no humectante para saturar totalmente la muestra. Como una opción, la muestra se inunda inicialmente con el fluido humectante (8) (con referencia a la Figura 4). Esto proporciona una condición límite interna inicial para la

simulación.

Como se indica, el usuario ingresa una relación de flujo deseada total, QT, típicamente medido en metros por segundo o pies por día o cualesquiera otras unidades deseadas, para forzarse a través de la muestra (13). La entrada de la relación de flujo total puede ser basada en la necesidad del técnico para hacer la simulación, típicamente un geólogo o ingeniero yacimiento. La relación de flujo de entrada puede ser una relación de flujo total existente de un pozo o una relación de flujo de pozo deseada, por ejemplo.

Cada uno de los dos fluidos, humectante y no humectante, se ajustan a diferentes presiones. Como se indica, un valor inicial para P_w , la presión ejercida sobre el fluido humectante, y P_n , la presión ejercida sobre el fluido no humectante se ingresan (9). Puede usarse la ley de Darcy, por ejemplo, para hacer un estimado inicial de presión con la siguiente ecuación [11]:

$$P_i = \frac{\mu \cdot L \cdot Q}{k_{abs} \cdot C \cdot A} \quad [11]$$

donde

P_i = valor inicial para presión de la fase deseada, humectante o no humectante

μ = viscosidad de la fase deseada

L = longitud de la muestra en la dirección del flujo

Q = flujo deseado de la fase deseada

k_{abs} = permeabilidad absoluta de la muestra

A = área del frente de entrada de la muestra

C = constante

La simulación converge más rápidamente cuando los valores iniciales de P_w y P_n son inferiores que el valor final. Por lo tanto los valores de la constante, C , pueden ser alrededor de 20, o alrededor de 30, o alrededor de 40, o
 5 alrededor de 50, o valores superiores.

En la presente invención, el fluido no humectante puede forzarse a través de los poros en el frente de entrada de la muestra para desplazar el fluido humectante (8). Alternativamente, si la muestra se saturó inicialmente con el
 10 fluido no humectante, entonces el fluido humectante puede forzarse inicialmente a través de los poros en el frente de la muestra. Debido a que no existe opcionalmente fluido humectante que es forzado a través de la muestra, el área fraccional del centro de los poros, A_n , puede ajustarse hasta
 15 1. Cuando estas condiciones se usan, existe únicamente el flujo de fase sencilla en la entrada de la muestra. Sin embargo, debido a que la muestra se inundó inicialmente con fluido humectante, existe el flujo de dos fases en el interior de la muestra y en la salida de la muestra después
 20 de un periodo de tiempo transitorio. Como una opción, la saturación de Muestra inicial es una saturación de fluido humectante total, $S_w = 1.0$, y una saturación de fluido no humectante total, $S_n = 1.0$. Como otra opción, la saturación de Muestra inicial puede ser las condiciones de saturación finales de una simulación previa.

Los cálculos CFD pueden ejecutarse en incrementos discretos como se muestra en las Figuras 5(a)-5(f). Cada incremento se mapea para incremento de tiempo t , en donde t

puede ser, por ejemplo, segundos, milisegundos u otras unidades de tiempo. Para cada incremento en tiempo, los parámetros clave del flujo a través de la muestra (16) se calculan. Los parámetros clave pueden incluir, por ejemplo,

5 la relación de flujo integrada del fluido humectante sobre el

volumen muestra, V , en un tiempo dado t , $Q_{wt} = \frac{1}{V} \int_v Q_w$, la relación de flujo integrada del fluido no humectante sobre el

10 volumen de muestra, V , en un tiempo dado t , $Q_{nt} = \frac{1}{V} \int_v Q_n$, y las presiones internas, vectores de velocidad para cada fase y las saturaciones para cada vóxel en la muestra en un tiempo dado t . El indicador de la etapa de tiempo, t , está incrementado por 1 cada vez que los parámetros clave se calculan (15). Las relaciones de flujo fraccionales pueden

15 determinarse con base en los cálculos que comprenden el uso de las cantidades de arriba como se usan para determinar Q_{wt} y Q_{nt} , en donde el volumen muestra (V) puede ser para el volumen completo de la muestra original o alternativamente

20 para una fracción del volumen completo original. La fracción del volumen puede elegirse, por ejemplo, cercano a la entrada para minimizar el desplazamiento cronológico del control.

Periódicamente, el número de etapas de tiempo transcurrido se verifica para observar si los cálculos de control de retroalimentación se van a hacer (21) (con referencia a la Figura 7). Los cálculos de control de retroalimentación se hacen periódicamente con base en una lista de incrementos en tiempo totales pre-definidos transcurridos (21), donde $M(q)$ es la secuencia de etapas de

tiempo q en cuya acción de control se toma. Las correcciones se hacen para las presiones de entrada, P_w y P_n , de manera que las relaciones de flujo objetivo Q_{wT} y Q_{nT} se logran (20). Las correcciones se hacen, por ejemplo, con un

5 algoritmo de control de retroalimentación. Las correcciones pueden ser ajustes periódicos de las presiones de entrada ajustadas para ocurrir, por ejemplo, alrededor de una vez cada 10 incrementos en tiempo, o una vez cada 100 incrementos en tiempo, o una vez cada 500 incrementos en tiempo, o una

10 vez cada 1,000 incrementos en tiempo, o una vez cada 10,000 incrementos en tiempo, o más. Una característica única de la presente invención es el uso de un algoritmo de control de retroalimentación en un algoritmo dinámico de fluido computacional para flujo de fluido de dos fases a través de

15 medios porosos para establecer el flujo de fluido fraccional. El número total de correcciones puede estar en el intervalo, por ejemplo, desde alrededor de 100 hasta 500, o desde alrededor de 10 hasta 1000, o cualquier otro intervalo como se requiera para lograr el flujo de estado cuasi-permanente.

20 Como una opción, el número de incrementos en tiempo de ajustes periódicos posteriores de presión de entrada pueden ser diferentes. Por ejemplo, el ajuste periódico de las presiones de entrada puede ocurrir más a menudo en la primera mitad del tiempo total de la simulación que en la segunda mitad de la simulación. Pueden hacerse más correcciones previas en la simulación que más tarde en la simulación debido a que los errores en Q_{wT} y Q_{nT} tienden a ser más grandes en la porción temprana de la simulación. El número

de correcciones de retroalimentación en la primera mitad del tiempo de simulación puede ser, por ejemplo, alrededor de 10, o alrededor de 15, o alrededor de 20 o más veces el número de correcciones hechas en la segunda mitad del tiempo de simulación. El número de correcciones puede variar continuamente a través del curso de la simulación, por ejemplo, con más correcciones que se hacen previas en la simulación comparada con la última en la simulación.

Qwt y Qnt son las relaciones de flujo calculadas de fluidos humectantes y no humectantes, respectivamente, para el intervalo de tiempo t . Para cada incremento de tiempo que se hacen correcciones de control de retroalimentación, los valores de Qwt y Qnt se almacenan (22) y un tiempo de movimiento o promedio de tiempo ponderado de los valores almacenados de flujo de fluido humectante en tiempo t , QW, y el fluido no humectante en tiempo t , QN, se calcula (18). El promedio ponderado, tal como usado para QW, QN, o QT, puede ser, pero no se limita a, un promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, o un promedio ponderado armónico. El promedio de movimiento, tal como usado para QW, QN, o QT, puede ser, pero no se limita, un promedio ondulante sencillo o un promedio de movimiento exponencialmente ponderado.

Como se muestra en la Figura 7, nuevos valores para Pn y Pw se calculan (20) usando un algoritmo de control de retroalimentación. Como una opción, el algoritmo de control de retroalimentación puede comprender un algoritmo de control de retroalimentación separado para ajustar la presión de

entrada para el fluido humectante y un algoritmo de control
 de retroalimentación separado para ajustar la presión de
 entrada para el fluido no humectante, donde la presión de
 entrada para el fluido humectante y la presión de entrada
 5 para el fluido no humectante se ajustan independientemente.
 El algoritmo de control de retroalimentación puede
 comprender, por ejemplo, un algoritmo de control de
 retroalimentación para ajustar la presión de entrada para
 tanto los fluidos humectantes y no humectantes, donde la
 10 presión de entrada para el fluido humectante y la presión de
 entrada para el fluido no humectante son iguales. La
 presente invención puede usar un algoritmo de control de
 retroalimentación negativo en donde los errores, E_w y E_n
 (19), se calculan al sustraer el valor actual, Q_w y Q_n , del
 15 valor objetivo, Q_{wT} y Q_{nT} . La presente invención puede usar
 dos algoritmos de control proporcionales-integrales-derivados
 (PID), uno para controlar el flujo de la fracción del fluido
 humectante y el otro para controlar el flujo de la fracción
 del fluido no humectante. En el caso de control PID el
 20 integral y derivado de los errores E_w y E_n se calculan en
 cada etapa de tiempo t en una manera para definir la salida
 del controlador PID, π_w y π_n . La salida del PID de control se
 usa para definir la variación de la presión de su valor
 inicial (9), de manera que para cada fase (humectante y no
 humectante en el caso de control doble) la nueva presión es
 $P_w = P_i + P_i \cdot \pi_w$, y $P_n = P_i + P_i \cdot \pi_n$, donde $P_i \cdot \pi$ es la variación
 de la presión cada tiempo que el controlador se activa. El
 valor de presión inicial ajusta la escala de tanto la presión

como su variación. Por ejemplo, el circuito PID de control puede comprender un error de entrada E_w y saca una presión de entrada nueva, P_w , en donde $P_w = P_i + P_i \cdot \pi_w$, P_i = la presión inicial se ajusta al inicio de la simulación, $\pi_w = f(E_w)$

5 tales como $K_p * E_w + K_i \int E_w dt + K_d \frac{dE_w}{dt}$, K_p = constante de control proporcional, K_i = constante de control integral, y K_d = constante de control derivado. Donde el circuito PID de control comprende un error de entrada E_n y saca una presión de entrada nueva, P_n , $P_n = P_i + P_i \cdot \pi_n$, P_i = la presión
10 inicial se ajusta al inicio de la simulación, y $\pi_n = f(E_n)$ tales como $K_p * E_n + K_i \int E_n dt + K_d \frac{dE_n}{dt}$, en donde K_p , K_i , y K_d representa las mismas constantes indicadas. Otros algoritmos de control, tales como control adaptivo, control jerárquico,
15 control inteligente, control óptimo, control robusto, control de red neural, control lógico difuso, o control estocástico, pueden emplearse como alternativas.

En la Figura 8a, la presión del fluido humectante se eleva digitalmente por una representación digital de un
20 dispositivo para incrementar la presión (50) y la presión del fluido no humectante se eleva digitalmente por una representación digital de un dispositivo para incrementar pressure (51). Ambos fluidos están forzados de esta manera a través de la muestra (52).

En la Figura 8a, la presión de fluido humectante, P_w , y la presión del fluido no humectante, P_n , son diferentes en la mayoría de los casos. Debido a esta diferencia de presión, la simulación puede calcular el contraflujo para el fluido

humectante o no humectante. El contraflujo es una circunstancia en donde el fluido fluye fuera de la muestra debido a la diferencia en presiones aplicadas de fluidos humectantes y no humectantes. El contraflujo es un efecto
5 ajeno de las diferencias de presión en la entrada y no ocurre en una prueba física. Por lo tanto, para compensar este factor, los presentes investigadores han proporcionado una técnica única en donde una zona amortiguadora en la entrada (53) se crea donde los fluidos no pueden contrafluir. La zona
10 amortiguadora se hace de un número de planos de vóxel en la entrada donde el número de planos de vóxel puede ser, por ejemplo, 1 o 2 o 3 o más. Para asegurar que no había contraflujo contraflujo en la zona amortiguadora, la tensión interfacial entre el fluido humectante y no humectante se
15 ajusta hasta cero y las viscosidades de los fluidos humectantes y no humectantes se incrementan en gran parte. Por ejemplo, la tensión interfacial entre el fluido humectante y fluido no humectante puede ajustarse hasta cero para todos los cálculos dentro de la zona amortiguadora. Las
20 viscosidades pueden incrementarse por un factor de alrededor de 10 veces, o alrededor de 20 veces, o alrededor de 30 veces, o alrededor de 40 veces, o alrededor de 50 veces o más. Otras técnicas para dirigir el contraflujo también pueden desarrollarse y usarse.

El flujo calculado o integrado del fluido humectante sobre el volumen de muestra, Q_{wt} , y el flujo calculado o integrado del fluido no humectante sobre el volumen de muestra, Q_{nt} , se miden y el flujo promedio (ponderado) de

fluido humectante, QW , y el flujo promedio (ponderado) de fluido no humectante, QN , se calculan. El error entre QW y el flujo objetivo de fluido humectante se calcula, $E_w = Q_{wT} - QW$ y el error entre QN y la relación de flujo objetivo de fluido no humectante se calcula, $E_n = Q_{nT} - QN$. Los errores, E_w y E_n , se introducen en dos algoritmos de control separados para ajustar las presiones de entrada P_w y P_n . El uso de dos algoritmos de control separados, uno para fluido humectante y otro para fluido no humectante, resulta en simulaciones que reflejan mejor las distribuciones actuales de los fluidos humectantes y no humectantes en una muestra del mundo real.

Un esquema de control alternativo se muestra en la Figura 8b donde un controlador sencillo se usa. En este caso, la presión de fluido humectante y no humectante en la entrada siempre es la misma. La presión del fluido humectante se eleva digitalmente por una representación digital de un dispositivo para incrementar presión (55) y la presión del fluido no humectante se eleva digitalmente por una representación digital de un dispositivo para incrementar presión (56). Ambos fluidos están forzados de esta manera a través de la muestra (57).

En la Figura 8b, la presión de fluido humectante, P_w , y la presión del fluido no humectante, P_n , son las mismas. No hubo contraflujo cuando no hubo diferencia de presión entre fluido humectante y no humectante. Sin embargo, para asegurar no hubo intermezcla calculada de fluidos humectantes y no humectantes en la entrada, una zona amortiguadora en la entrada (58) puede crearse similar al caso donde se usan dos

controladores separados. Como se indica, la zona amortiguadora puede hacerse, por ejemplo, de un número de planos de vóxel en la entrada donde el número de planos de vóxel puede ser 1, o 2, o 3 o más. Para asegurar que no
 5 había intermezcla en la zona amortiguadora, la tensión interfacial entre el fluido humectante y no humectante puede ajustarse hasta cero. No hubo necesidad de alterar las viscosidades en el caso de un controlador debido a que no hubo diferencia en la presión para conducir el contraflujo.

10 El flujo integrado de los fluidos humectantes y no humectantes combinados sobre el volumen de muestra, Q_{ct} , se mide y el flujo promedio ponderado de los fluidos humectantes y no humectantes combinados, Q_C , se calcula. El error entre Q_C y el flujo objetivo total a través de la muestra, Q_T , se
 15 calcula, $E_c = Q_T - Q_C$. El error, E_c , se introduce en un algoritmo de control separado sencillo para ajustar la presión de entrada. Por ejemplo, el circuito PID de control puede comprender un error de entrada E_c y saca una presión de entrada nueva, P_c , en donde $P_c = P_i + P_i \cdot \pi_c$, P_i = la presión
 20 inicial se ajusta al inicio de la simulación, y $\pi_c = f(E_c)$ tales como $K_p * E_c + K_i \int E_c dt + K_d \frac{dE_c}{dt}$, en donde K_p , K_i , y K_d representa las mismas constantes indicadas. Usando un controlador sencillo que no produce resultados de simulación tan representativos del mundo real como usando dos controladores separados. Sin embargo, las simulaciones usando un controlador son menos complejas, más rápidas de correr y pueden producir resultados que son suficientemente en muchos casos. Las simulaciones del controlador sencillo

también pueden usarse para aproximaciones iniciales de flujos de fase múltiple/componente múltiple fraccional a través de medios porosos. Un circuito PID de control, por ejemplo, pueden usarse al determinar al menos uno o más, o todos, de

5 Ew, En, y Ec.

En el caso de un algoritmo PID de control, puede haber tres ajustes de controlador: ganancia proporcional (K_p), ganancia integral (K_i), y ganancia derivada (K_d). Los circuitos PID de control se sintonizan al ajustar valores

10 seleccionados para K_p , K_i y K_d para lograr la respuesta de control deseada. Los valores para K_p , K_i y K_d pueden seleccionarse por cualquiera de los métodos de sintonización conocidos tales como sintonización manual, Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, y otros métodos.

15 Como se indica, la simulación corre para un número suficiente de incrementos en tiempo, t_{max} (24), para lograr el estado cuasi-permanente. El número de incrementos en tiempo (t_{max}) usado puede ser un valor preseleccionado o un valor no seleccionado que se dirige por un umbral estadístico

20 prescrito que se cumple por ciertos resultados computacionales. El número de incrementos en tiempo pueden ajustarse experimentalmente o por métodos estadísticos cuantitativos. El estado cuasi-permanente significa que los valores calculados de Q_n , Q_w , P_n , P_w y/o saturación no varían por más de un valor pre-determinado dentro de un número fijo de etapas de tiempo. Por ejemplo, en estado cuasi-permanente, la variación en los valores del parámetro entre incrementos consecutivos en tiempo t u otro número seleccionado de

incrementos t , tales como para Q_N , Q_W , P_w , P_n , saturación, u otros parámetros, no varían por más de un valor pre-específico o valor de umbral. Como una opción indicada, t_{max} (24) puede ser un número predefinido. Como una opción, el

5 número predefinido de incrementos en tiempo, t , puede ajustarse suficientemente grande para lograr el estado cuasi-permanente. La presente invención ha encontrado, por ejemplo, que el ajuste t_{max} para un número suficientemente grande puede lograr el estado cuasi-permanente. La magnitud de t_{max}

10 necesaria en este respecto puede depender de las características del medio poroso y las propiedades de los fluidos que fluyen a través del medio poroso. El número de incrementos en tiempo puede, por ejemplo, ajustarse a un valor de 10,000 o un valor superior, o 100,000 o un valor

15 superior, o 1,000,000 o un valor superior, u otros valores. En general, las estructuras de poro más pequeñas y relaciones de viscosidad superiores entre fluidos pueden requerir valores más grandes de t_{max} . Como otra opción, el número de incrementos en tiempo para t_{max} puede ser un valor que es

20 contingente en ciertos resultados calculados que cumplen algún umbral de varianza numérica (V_t). La cantidad pre-específica o valor de umbral de varianza (V_t) puede ajustarse en cualquier valor deseado. Por ejemplo, el valor de umbral de varianza (V_t) puede ser una diferencia de porcentaje con respecto a dos o más valores calculados consecutivos para parámetros seleccionados. Cuando el umbral de varianza (V_t) se calcula para cumplirse, t se vuelve t_{max} (24) en tal iteración, y el proceso proce a la etapa 23. Como una opción,

un valor de umbral (V_t), que puede usarse para determinar si las condiciones estado cuasi-permanente se han logrado en una iteración de acuerdo con el presente método, puede ser un valor de alrededor de $\pm 10\%$, o alrededor de $\pm 7\%$, o alrededor de $\pm 5\%$, o alrededor de $\pm 3\%$, o alrededor de $\pm 1\%$, o alrededor de $\pm 0.5\%$, u otros valores. Por ejemplo, si un umbral de varianza de $\pm 5\%$ se selecciona y aplica a todos los parámetros de interés, por ejemplo, Q_n , Q_w , P_w , P_n , S_w , S_n y así sucesivamente, en el método de simulación, y cada parámetro tiene un primer valor normalizado de 100 en t_1 y un segundo valor normalizado en el intervalo de 95-105 en t_2 , luego el umbral al $\pm 5\%$ para encontrar las condiciones del estado cuasi-permanente debería cumplirse, y el método que procede a la etapa 32 se muestra en la Figura 7. En otra opción, el simulador puede diseñarse para verificar para observar si el umbral seleccionado se cumple en más de una iteración consecutiva antes de que proceda a la etapa 32 mostrada en la Figura 7. El fluido de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de medios porosos tiende por la naturaleza a variar con el paso el tiempo y típicamente no logra un régimen permanente absoluto o verdadero. No obstante, las determinaciones de las propiedades en el estado cuasi-permanente en los presentes métodos se han encontrado para ser útiles y ventajosos para estimar eficientemente y exactamente las propiedades del transporte de fluido útiles para evaluar los medios porosos. Como se indica, el logro del estado cuasi-permanente puede determinarse en los presentes métodos, por ejemplo, por observación, experiencia de la

persona que corre la simulación, o métodos cuantitativos que examinan la varianza, promedios móviles, u otras evaluaciones de QN, QW, Pw, Pn, saturación u otros parámetros.

Como se muestra en la Figura 7, si tmax no se ha logrado
 5 (24), entonces el índice para la acción de control se incrementa por 1, $q = q + 1$ (23) y los nuevos valores para Pn y Pw calculados en el algoritmo de control de retroalimentación se introducen a los cálculos CFD (25). Las etapas (15), (16) y (17) se repiten hasta que otra acción de
 10 control se programa (21).

Cuando tmax se ha logrado (24), los valores finales para QN, QW y Sw se almacenan (32). La permeabilidad relativa puede calcularse en este punto desde QN, QW, Sw y los datos del fluido y propiedades de la roca. La permeabilidad
 15 relativa en este punto puede ser la permeabilidad relativa de absorción en la saturación de fluido humectante irreducible, Swirr. Esto es un resultado de la forma de la simulación que se corre, iniciando con la muestra inundada con el fluido humectante y luego se reemplaza con el fluido no humectante.
 20 Debido a la tensión de superficie y humectabilidad, todo del fluido humectante usualmente no puede purgarse y el fluido humectante restante es el fluido humectante irreducible para la muestra y fluidos en la simulación. Como una opción, un método para calcular la permeabilidad relativa de fluidos humectantes y no humectantes que fluyen a través de un medio poroso puede comprender (a) definir una serie de pares de fluidos no humectantes y fluido humectantes, cada par para forzarse a través de la muestra, tal como describe en la

presente; (b) ajustar la saturación de muestra inicial; (c) forzar cada par de fluidos humectantes y no humectantes a través de la muestra, tales como se describe en la presente; (d) registrar los valores calculados de Q_N , Q_W y saturación del fluido humectante, S_w para cada par de fluidos humectantes y no humectantes; (e) calcular los valores de permeabilidad relativa del fluido humectante, k_w ; calcular los valores de la permeabilidad relativa del fluido no humectante, k_n ; y calcular los valores de la saturación de agua, S_w , y (f) generar una gráfica de valores de k_w y k_n contra S_w . La saturación de la muestra inicial puede ser, por ejemplo, saturación humectante de fluido total, $S_w = 1.0$, saturación de fluido no humectante total, $S_n = 1.0$, o cualquier otra saturación. Como otra opción, la saturación de muestra inicial pueden ser las condiciones de saturación finales de una simulación previa.

Después de las etapas de tiempo iniciales donde el fluido no humectante se obliga a través de la muestra, diversas combinaciones de fluidos humectantes y no humectantes se fuerzan a través de la muestra como se describe arriba y se muestra en los bloques (15), (16), (21), (22), (18), (19), (20), (24), (23), y (25) en la Figura 7. El índice para acción de control de retroalimentación, q , se reajusta hasta 1 (26). Para realizar la simulación con la nueva combinación de fluido humectante y no humectante, nuevos valores para la fracción de fluido humectante, F_n , y la fracción de fluido no humectante, F_n , puede seleccionarse de la lista de combinaciones de fluido pre-definidas (29).

El número de pares de valores para F_n y F_w puede ser, por ejemplo, 10, o 20, o más. Cualquier combinación de F_n y F_w puede usarse donde la suma de los mismos es igual a 1 (esto es, $F_n + F_w = 1$). La suma de F_n y F_w representa 100% del fluido (fluido no humectante y fluido humectante) que ingresa el frente de entrada de la muestra. Los pares de los valores, F_w y F_n , almacenados en la lista, $B(y)$, como una opción, puede ser:

a) [.8, .2]; [.6, .4]; [.4, .6]; [.2, .8]; [0, 1];

10 [.2, .8]; [.4, .6]; [.6, .4]; [.8, .2]; [1, 0], o

b) [.9, .1]; [.85, .15]; [.8, .2]; [.75, .25]; [.7, .3]; [.6, .4]; [.5, .5]; [.4, .6]; [.3, .7]; [.25, .75]; [.2, .8]; [.85, .15]; [.1, .9]; [0, 1];
 15 [.1, .9]; [.15, .85]; [.2, .8]; [.25, .75]; [.3, .7]; [.4, .6]; [.5, .5]; [.6, .4]; [.7, .3]; [.75, .25]; [.8, .2]; [.85, .15]; [.9, .1]; [1, 0], o

c) Otras combinaciones.

Como una opción, la relación (R) de las viscosidades de la fase de baja viscosidad a la fase de alta viscosidad de los fluidos humectantes y no humectantes pueden usarse a escala los pares de valores, F_n y F_w , y los valores a escala resultantes de los mismos, F_n' y F_w' , pueden almacenarse en la lista, $B(y)$, en sustitución para los valores F_n y F_w . La viscosidad del fluido humectante (μ_w) puede ser alta o baja. LA viscosidad de fluido no humectante (μ_n) también puede ser alta o baja. La relación (R) puede ser μ_w/μ_n o μ_n/μ_w , dependiendo de cuya viscosidad sea inferior y que sea superior. Esto es, la viscosidad de fluido humectante

inferior (μ_w) y la viscosidad de fluido no humectante (μ_n) pueden usarse como el numerador en la relación y la otra viscosidad se usa como el valor denominador. Por ejemplo, donde la viscosidad de fluido humectante es alta y la viscosidad de fluido no humectante es baja, entonces la relación (R) debería ser la viscosidad de fluido no humectante/viscosidad de fluido humectante (μ_n/μ_w). Donde la viscosidad de fluido humectante es baja y la viscosidad de fluido no humectante es alta, luego la relación (R) debería ser viscosidad de fluido humectante/viscosidad de fluido no humectante (μ_w/μ_n). Por ejemplo, para los pares de (F_n' , F_w'), F_n' pueden calcularse como el valor de ($F_n \times R$) y F_w' se calcula como el valor de ($1 - (F_n \times R)$), en donde R es la relación de viscosidades de la fase de viscosidad baja/fase de viscosidad alta indicada. Cualquier combinación de F_n' y F_w' tiene una suma que es igual a 1. La suma de F_n' y F_w' representa 100% del fluido (fluido no humectante y fluido humectante) que ingresa al frente de entrada de la muestra. Un ejemplo de pares de valores, F_n' y F_w' , calculados y almacenados en la lista, B(y), por ejemplo, puede ser:

a) $[R, 0]; [(0.9 \times R), (1 - 0.9 \times R)]; [(0.8 \times R), (1 - 0.8 \times R)]$.

Los pares de valores para F_w y F_n indicados arriba cubren la simulación de las curvas de absorción y drenaje como se muestra en las Figuras 5(a)-5(f). Como una opción, los pares de fluido humectante y no humectante pueden comprender una serie ordenada de valores en los cuales F_n disminuye en las etapas hasta cero y luego incrementa hasta 1.0. La presente invención es única en su capacidad para

simular y calcular digitalmente las curvas de absorción y drenaje con un grado alto de precisión debido en parte a las condiciones de límite de entrada que establecen áreas separadas para fluidos humectantes y no humectantes en la
5 entrada y el enfoque de control del proceso único que hace la convergencia de los cálculos robustos y prácticos de un punto de vista en tiempo de computación.

Las áreas de poro de entrada fraccionales para fluido no humectante, A_n , y fluido humectante, A_w , pueden ajustarse
10 para cada combinación de fluido humectante y no humectante. Las áreas fraccionales que fueron aproximadamente iguales a 0.5 y A_w aproximadamente iguales a 0.5 son aceptables para muchas combinaciones de F_n y F_w . Sin embargo, para los valores bajos de F_n , el área fraccional A_n puede necesitar
15 reducirse y el área fraccional correspondiente A_w incrementa. $A_n + A_w$ se agregan hasta 1.0. A_n puede necesitar reducirse cuando el flujo fraccional se vuelve demasiado bajo con respecto al área disponible para completamente rellenar el
área central disponible de los poros. Esto puede resultar en
20 inestabilidad y captura y liberación de burbujas grandes de fluido no humectante en la simulación que no satisface la relación de flujo requerida. Como una opción, los poros en el frente de entrada pueden comprender áreas distintas y separadas formadas al asignar los vóxeles de poro inmediatamente adyacentes a un vóxel de grano para el flujo de los fluidos humectantes (A_w) y los vóxeles de poro restantes se asignan para el flujo de los fluidos no humectantes (A_n). El A_w puede incrementarse, por ejemplo, al

asignar además vóxeles de poro adyacentes a A_w para el flujo de los fluidos humectantes (A_w) y los vóxeles de poro restantes se asignan para el flujo de los fluidos no humectantes (A_n). Como una opción, A_w y A_n pueden proporcionarse, en donde la (suma de vóxeles en A_n) / ((suma de vóxeles en A_n) + (suma de vóxeles en A_w)) es aproximadamente 0.5 o menos. Como una opción, el área de los poros fraccional en el frente de entrada asignado para inyección de fluido no humectante, A_n , se disminuye cuando F_n es menor que alrededor de 0.2, o cuando F_n es menor que alrededor de 0.1, en donde A_n se reduce hasta alrededor de 0.4 o menos, o alrededor de 0.3 o menos, o alrededor de 0.2 o menos, o alrededor de 0.1 o menos, u otros valores. Ajustando las áreas fraccionales A_n y A_w es una característica única de la presente invención, que hace esto posible para las simulaciones para lograr el estado cuasi-permanente y produce resultados utilizables.

Las relaciones de flujo objetivo para los nuevos flujos fraccionales pueden calcularse (28) como sigue:

- a) $Q_{wT} = Q_T * F_w$
- b) $Q_{nT} = Q_T * F_n$.

Después de que todas las combinaciones de flujos humectantes y no humectantes fraccionales se han procesado y las relaciones de flujo, presiones y saturaciones se han calculado, las permeabilidades relativas de absorción y drenaje pueden calcularse para las saturaciones de agua correspondientes para cada par de flujos fraccionales (33). Las permeabilidades relativas y saturaciones pueden

graficarse (34) como se muestra en la Figura 1.

Con referencia a la Figura 9, un sistema 100 se muestra el cual puede adaptarse para realizar los presentes métodos. Como se muestra en este ejemplo, las imágenes tridimensionales (3D) de las muestra del medio poroso obtenidas de la fuente 101 se generan por el escáner 102. El escáner puede comprender, por ejemplo, un escáner tomográfico para computadora (CT), un microscopio de electrones de barrido (SEM), un microscopio de electrones de barrido de haz de ion enfocado (FIB-SEM), o dispositivo similar capaz de producir una imagen digital tridimensional de un medio poroso. La salida de imagen en 3D 103 del escáner puede transferirse a una computadora 104 que tiene instrucciones del programa para llevar a cabo el análisis de imagen en 3D, y los datos CFD indicados y análisis de simulación, para generar los resultados/salida de modelado de muestra que pueden transmitirse a uno o más dispositivos 105, tales como una pantalla, una impresora, medio de almacenamiento de datos, o combinaciones de estos. Los programas para computadora usados para análisis de imagen en 3D y los cálculos CFD y modelado de simulación pueden almacenarse, como un producto de programa, en al menos un medio de almacenamiento utilizable en computadora 104B (por ejemplo un disco duro, un dispositivo de memoria flash, un disco compacto, un disco/cinta magnética, u otros medios) asociados con al menos un procesador 104A (por ejemplo, un CPU) que se adapta para correr los programas, o puede almacenarse en un medio de almacenamiento utilizable en computadora externa (no

se muestra) que es accesible al procesador de la computadora. La computadora 104 puede incluir al menos una unidad de memoria 104C para almacenamiento de los programas, datos de entrada y datos de salida, y otros resultados de programa, o combinaciones de estos. Para la pantalla de salida, el dispositivo 105 puede ser, por ejemplo, un monitor de pantalla, CRT, u otro medio visual de pantalla (no se muestra). La computadora 104 puede incluir una o más computadoras del sistema, que puede implementarse como una computadora personal sencilla o como una red de computadoras. Sin embargo, aquellos experimentados en el arte apreciará que las implementación de varias técnicas descritas en la presente pueden practicarse en una variedad de configuraciones del sistema de computadora, incluyendo servidores del protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), dispositivos de mano, sistemas de multiprocesador, electrónicos de consumo programable o basados en el microprocesador, PCs de red, minicomputadoras, computadoras de ordenador central, y similares. Las unidades del sistema 100 incluyendo escáner 102, computadora 104, y pantalla de salida y/o almacenamiento de datos externo 105, puede conectarse uno con el otro para comunicaciones (por ejemplo, transferencia de datos, etc.), por medio de cualquiera de cableado, comunicaciones de radiofrecuencia, telecomunicaciones, conexión a internet, u otros medios de comunicación.

La presente invención incluye los siguientes aspectos/modalidades/características en cualquier orden y/o

5/2

en cualquier combinación:

1. La presente invención se refiere a un método para simular el flujo fraccional de fluidos humectantes y fluidos no humectantes a través de medio poroso que comprende las etapas de:

a) crear una representación digital tridimensional de un medio poroso (Muestra) que contiene un volumen total de fluidos que comprenden fluidos humectantes y fluidos no humectantes,

b) definir una primera fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos humectantes y una segunda fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos no humectantes,

c) definir un valor para una relación de flujo del volumen total de fluidos que fluyen a través de la muestra,

d) evaluar las propiedades de los fluidos humectantes y los fluidos no humectantes,

e) definir las condiciones iniciales para saturación de los fluidos humectantes (S_w), saturación de los fluidos no humectantes (S_n), presión de entrada de los fluidos humectantes (P_w) y presión de entrada de los fluidos no humectantes (P_n),

f) ajustar las condiciones en el frente de la entrada de la muestra en donde fluidos no humectantes y fluidos humectantes entran en los poros de la muestra en áreas separadas y distintas, y

g) calcular las presiones, saturación, y vectores de

velocidad internos a la muestra,

h) calcular las relaciones de flujo de los fluidos no humectantes (Q_n) a través de la muestra, relaciones de flujo de los fluidos humectantes (Q_w) a través de la muestra, y presión en la salida de la muestra,

i) repetir las etapas a) a través de h) durante un número predefinido de incrementos en tiempo, t , y

j) ajustar periódicamente las presiones de entrada P_n y P_w usando un algoritmo de control de retroalimentación en donde valores de estado cuasi-permanente para Q_n y Q_w se logran.

2. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el medio poroso es roca, tierra, zeolita, tejido biológica, madera, corcho, cemento, cerámica, arena, arcilla, compuesto inorgánico, compuesto orgánico, o metal.

3. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde la muestra comprende planos ordenados, múltiples de vóxeles, en donde cada uno de los vóxeles representa un poro (vóxel de poro) o sólido (vóxel de grano).

4. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde las propiedades de los fluidos humectantes comprenden viscosidad, ángulo de contacto, tensión interfacial, otras propiedades físicas o químicas o cualesquiera combinaciones de los mismos.

5. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto

precedente o siguiente, en donde las propiedades de los fluidos no humectantes comprenden viscosidad, ángulo de contacto, tensión interfacial, otras propiedades físicas o químicas o cualesquiera combinaciones de los mismos.

- 5 6. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde la muestra comprende (a) un frente de entrada y un frente de salida en donde el frente de entrada y el frente de salida son paralelos uno con el otro, y (b) tres o más superficies
- 10 ortogonales para el frente de entrada y el frente de salida, en donde las tres o más superficies ortogonales son impermeables para fluir de los fluidos humectantes y los fluidos no humectantes.
7. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto
- 15 precedente o siguiente, en donde el frente de entrada además comprende una zona amortiguadora paralela al frente de entrada que comprende al menos un plano de vóxel.
8. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto
- 20 precedente o siguiente, en donde una tensión interfacial entre el fluido humectante y fluido no humectante se ajusta hasta cero para todos los cálculos dentro de la zona amortiguadora.
9. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde la tensión interfacial entre el fluido humectante y fluido no humectante se ajusta hasta cero y las viscosidades del fluido humectante y fluido no humectante se incrementan por un

factor de al menos alrededor de 10 veces para todos los cálculos dentro de la zona amortiguadora.

10. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde los fluidos no humectantes y los fluidos humectantes entran en la muestra a través de los poros en el frente de entrada de la muestra.

11. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde los poros en el frente de entrada comprenden áreas separadas y distintas formadas al asignar vóxeles de poro inmediatamente adyacentes a un vóxel de grano para el flujo de los fluidos humectantes (A_w) y los vóxeles de poro restantes se asignan para el flujo de los fluidos no humectantes (A_n).

12. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el A_w se incrementa al asignar además vóxeles de poro adyacentes a A_w para el flujo de los fluidos humectantes (A_w) y los vóxeles de poro restantes se asignan para el flujo de los fluidos no humectantes (A_n).

13. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde $\frac{\text{suma de vóxeles en } A_n}{((\text{suma de vóxeles en } A_n) + (\text{suma de vóxeles en } A_w))}$ es aproximadamente 0.5 o menos.

14. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el cálculo comprende dinámicas de fluido computacional.

15. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde las dinámicas de fluido computacional comprenden el método de cuadrícula de Boltzmann.
- 5 16. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el incremento de tiempo, t , pueden ser segundos, mili-segundos u otra unidad de tiempo.
- 10 17. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el número de incrementos en tiempo es 10,000 o más.
- 15 18. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el algoritmo de control de retroalimentación comprende un algoritmo de control de retroalimentación separado para ajustar la presión de entrada para el fluido humectante y un algoritmo de control de retroalimentación separado para ajustar la presión de entrada para el fluido no humectante, en donde la presión de entrada para el fluido humectante y la presión de entrada para el fluido no humectante se ajustan independientemente.
- 20 19. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el algoritmo de control de retroalimentación comprende un algoritmo de control de retroalimentación para ajustar la presión de entrada para tanto el fluido humectante y no humectante, en donde la presión de entrada para el fluido humectante y la presión de entrada para el fluido no humectante son

iguales.

20. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el algoritmo de control de retroalimentación comprende un circuito de control proporcional-integral-derivado, un control adaptivo, un control jerárquico, un control inteligente, un control óptimo, un control robusto, un control de red neural, un control lógico difuso, o un control estocástico.

21. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el algoritmo de control de retroalimentación es un algoritmo de control de retroalimentación negativo.

22. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el algoritmo de control de retroalimentación comprende un circuito de control proporcional-integral-derivado (PID).

23. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el circuito PID de control comprende un error de entrada E_w y saca una presión de entrada nueva, P_w , en donde

$$P_w = P_i + P_i \cdot \pi_w$$

P_i = la presión inicial se ajusta al inicio de la simulación

$$\pi_w = f(E_w) \text{ tales como } K_p * E_w + K_i \int E_w dt + K_D \frac{dE_w}{dt}$$

K_p = constante de control proporcional,

K_i = constante de control integral,

K_D = constante de control derivado,

$E_w = Q_{wT} - Q_w$, y

$Q_{wT} = Q_T * F_w$,

QT = la relación de flujo total objetivo a través de la muestra,

Fw = la fracción de fluido humectante que ingresa en el frente de entrada de la muestra,

5 QW = un promedio de valores de Qwt, y

Qwt = la relación de fluido calculado de fluido humectante e intervalo de tiempo, t.

24. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde QW comprende un
 10 promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, un promedio ponderado armónico, un promedio ondulado sencillo, un promedio de movimiento exponencialmente ponderado u otro método para promediar una serie de números.

15 25. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el circuito PID de control comprende un error de entrada En y saca una presión de entrada nueva, Pn, en donde

$$P_n = P_i + P_i * n_n$$

20 P_i = la presión inicial se ajusta al inicio de la simulación

$$n_n = f(E_n) \text{ tales como } K_p * E_n + K_i \int E_n dt + K_D \frac{dE_n}{dt}$$

K_p = constante de control proporcional,

K_i = constante de control integral,

K_D = constante de control derivado,

$$E_n = Q_n T - Q_N, \text{ y}$$

$$Q_n T = Q_T * F_n,$$

QT = la relación de flujo total objetivo a través de la muestra,

F_n = la fracción de fluido no humectante que ingresa en el frente de entrada de la muestra,

Q_N = un promedio de valores de Q_{nt} , y

Q_{nt} = la relación de fluido calculado de fluido no humectante e intervalo de tiempo, t .

26. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde Q_N comprende un promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, un promedio ponderado armónico, un promedio ondulado sencillo, un promedio de movimiento exponencialmente ponderado u otro método para promediar una serie de números.

27. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el circuito PID de control comprende un error de entrada E_c y saca una presión de entrada nueva, P_c , en donde

$$P_c = P_i + P_i \cdot n_c$$

P_i = la presión inicial se ajusta al inicio de la simulación

$$n_c = f(E_c) \text{ tales como } K_p * E_c + K_i \int E_c dt + K_d \frac{dE_c}{dt}$$

K_p = constante de control proporcional,

K_i = constante de control integral,

K_d = constante de control derivado,

$E_c = Q_T - Q_C$, y

Q_T = la relación de flujo total objetivo a través de la muestra,

Q_C = un promedio de valores de $Q_{wt} + Q_{nt}$,

Q_{nt} = la relación de fluido calculado de fluido no humectante e intervalo de tiempo, t , y

Q_{wt} = la relación de fluido calculado de fluido humectante e intervalo de tiempo, t .

28. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde QT comprende un promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, un promedio ponderado armónico, un promedio ondulado sencillo, un promedio de movimiento exponencialmente ponderado u otro método para promediar una serie de números.
29. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde las presiones de entrada periódicamente ajustadas ocurren alrededor de una vez cada 10 incrementos en tiempo o mayor.
30. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el número de incrementos en tiempo de ajustes periódicos posteriores de presión de entrada son diferentes.
31. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde las presiones de entrada periódicamente ajustadas ocurren más a menudo en la primera mitad del tiempo total de la simulación que en la segunda mitad de la simulación.
32. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde las presiones de entrada periódicamente ajustadas en la primera mitad del tiempo total de simulación ocurren al menos 10 veces más que en la segunda mitad.
33. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto

precedente o siguiente, en donde el estado cuasi-permanente es donde los valores calculados de Q_n , Q_w , P_n , P_w y/o saturación varían no más de un valor pre-determinado.

- 5 34. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el número predefinido de incrementos en tiempo, t , se ajustan suficientemente grande para lograr el estado cuasi-permanente.
35. Un método para calcular la permeabilidad relativa de los
10 fluidos humectantes y no humectantes que fluyen a través de un medio poroso que comprende
- a) definir una serie de pares de fluidos no humectantes y fluido humectantes, cada par que está forzado a través de la muestra,
 - 15 b) ajustar una saturación de muestra inicial,
 - c) forzar cada par de fluidos humectantes y no humectantes a través de la muestra,
 - d) registrar los valores calculados de Q_n , Q_w y fluido humectante saturación, S_w para cada par de fluidos
20 humectantes y no humectantes,
 - e) calcular valores de permeabilidad relativa del fluido humectante, k_w ; calcular valores de la permeabilidad relativa del fluido no humectante, k_n ; y calcular valores de la saturación de agua, S_w , y
 - f) generar un gráfica de valores de k_w y k_n contra S_w .
36. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el medio poroso es roca, tierra, zeolita, tejido biológica, madera, corcho,

cemento, cerámica, arena, arcilla, roca, compuesto inorgánico, compuesto orgánico, o metal.

37. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde un par de fluido humectante y no humectante comprenden una composición fraccional del fluido no humectante y un valor fraccional del fluido humectante (F_n , F_w).

38. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el par de fluido humectante y no humectante comprende una pluralidad de pares de (F_n , F_w), en donde cualquier combinación de F_n y F_w tiene una suma que es igual a 1.

39. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el par de fluido humectante y no humectante comprende una pluralidad de pares de (F_n' , F_w'), en donde F_n' se calcula como el valor de ($F_n \times R$) y F_w' se calcula como el valor de ($1 - (F_n \times R)$), en donde R es la relación de viscosidades de la fase de viscosidad baja a la fase de viscosidad alta de los fluidos humectantes y no humectantes, y cualquier combinación de F_n' y F_w' tiene una suma que es igual a 1.

40. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde los pares de fluido humectante y no humectante comprenden una serie ordenada de valores en la cual F_n disminuye en las etapas hasta cero y luego incrementa hasta 1.0.

41. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto

62
63

precedente o siguiente, en donde la saturación de muestra inicial es una saturación de fluido humectante total, $S_w = 1.0$, y a total fluido no humectante saturación, $S_n = 1.0$.

- 5 42. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde la saturación de muestra inicial es la condición de saturación final de una simulación previa.
- 10 43. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el área fraccional de los poros en el frente de entrada asignado para inyección de fluido no humectante, A_n , se disminuye cuando F_n es menor que alrededor de 0.2.
- 15 44. El método de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde A_n se reduce hasta alrededor de 0.4 o menos.
45. Un sistema que calcula el flujo de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de un medio poroso que comprende:
 - 20 a) un escáner capaz de producir una imagen digital tridimensional de un medio poroso,
 - b) una computadora que comprende al menos un procesador operable para ejecutar un programa de computadora capaz de clasificar elementos en la imagen digital tridimensional como sólido (grano) y poro (vacío),
 - c) una computadora (igual o diferente de b)) que comprende al menos un procesador operable para ejecutar un programa de computadora capaz de realizar cálculos, en donde los cálculos

comprenden (i) crear una representación digital tridimensional de un medio poroso (Muestra) que contiene un volumen total de fluidos que comprenden fluidos humectantes y fluidos no humectantes, (ii) definir una primera fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos humectantes y definir una segunda fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos no humectantes, (iii) definir un valor para una relación de flujo del volumen total de fluidos que fluyen a través de la muestra, (iv) evaluar las propiedades de los fluidos humectantes y los fluidos no humectantes, (v) definir las condiciones iniciales para saturación de los fluidos humectantes (S_w), saturación de los fluidos no humectantes (S_n), presión de entrada de los fluidos humectantes (P_w) y presión de entrada de los fluidos no humectantes (P_n), (vi) ajustar las condiciones en el frente de la entrada de la muestra en donde fluidos no humectantes y fluidos humectantes entran en los poros de la muestra en áreas separadas y distintas, y (vii) calcular las presiones, saturación, y vectores de velocidad internos para una muestra del medio poroso, (viii) calcular las relaciones de flujo de los fluidos no humectantes (Q_n) a través de la muestra, relaciones de flujo de los fluidos humectantes (Q_w) a través de la muestra, y presión en la salida de la muestra, (ix) repetir las etapas (i) a través de (viii) durante un número predefinido de incrementos en tiempo, t , y (x) ajustar periódicamente las presiones de entrada P_n y P_w usando un algoritmo de control de retroalimentación en donde valores de estado cuasi-permanente para Q_n y Q_w se logran, y

d) al menos un dispositivo para mostrar, imprimir, o almacenar los resultados de los cálculos.

5 46. El sistema de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el escáner comprende un escáner tomográfico para computadora (CT), un microscopio de electrones de barrido (SEM), un microscopio de electrones de barrido de haz de iones enfocados (FIB-SEM), o dispositivo similar capaz de producir una imagen digital tridimensional de un medio
10 poroso.

47. El sistema de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente, en donde el dispositivo comprende un dispositivo de memoria para almacenamiento recuperable de los resultados de los cálculos.

15 48. Un producto del programa de computadora en un medio legible en computadora que, cuando se realiza en un controlador en un dispositivo computarizado proporciona un método para realizar los cálculos de cualquier modalidad/característica/aspecto precedente o siguiente.

20 Este programa de computadora puede estar en un medio de almacenamiento no transitorio y/o el medio de almacenamiento legible en computadora puede excluir las señales.

La presente invención puede incluir cualquier combinación de estas varias características o modalidades de arriba y/o debajo como se establece en oraciones y/o párrafos. Cualquier combinación de características descritas en la presente se considera parte de la presente invención y sin limitación se pretende con respecto a las características

combinables.

La presente invención se clarificará además por los siguientes ejemplos que se pretenden para ser únicamente ejemplares en naturaleza.

5

EJEMPLOS

Ejemplo 1

10 Una muestra de una roca de carbonato se seleccionó para análisis usando un método representativo de la presente invención. El tapón de muestra se pesó (125.299 g), físicamente medido para su diámetro y longitud, y fotografió. El tapón se marcó para orientación y colocó en un horno para
15 secarse y pesarse de nuevo (124.447 g).

El tapón se procesó en imágenes en un MicroXCT-200 fabricado por Xradia a una resolución de 0.5x, en aproximadamente 40 micrones (μm) por vóxel. El tapón se escaneó con el Escáner CT de Rayos X de Energía Doble Ceretom
20 fabricado por Neurologica para determinar la densidad de volumen y número atómico. Una ubicación de sub-muestra se seleccionó que muestra el número atómico típico. Las áreas con número atómico alto se evitaron.

Se usó un láser para moler un pilar de 4 mm de diámetro de la muestra de carbonato (ver la región cuadrada indicada en la Figura 10). La región cuadrada en la Figura 10 es el área de la muestra de carbonato seleccionado para análisis adicional. La sub-muestra seleccionada se procesó en imágenes

66X

en el escáner MicroXCT-200 a una resolución de 40x, aproximadamente 500 nanómetros por vóxel. La imagen escaneada resultante de la sub-muestra seleccionada se muestra en la Figura 11.

5 La imagen se reconstruyó y recortó a un cubo de vóxel de 500 x 500 x 500 para segmentación. La imagen se segmentó en una manera indicada en la presente y permeabilidad absoluta, factor de formación y elasticidad se estimaron usando métodos disponibles en la literatura. La permeabilidad en la
10 dirección z fue 22 mD y la porosidad fue 0.21.

 La imagen segmentada se recortó a un cubo de vóxel de 200 x 200 x 260, manteniendo aproximadamente la misma porosidad y permeabilidad absoluta en la dirección del flujo. De esta manera, la imagen segmentada usada para estimación de
15 permeabilidad relativa usando un método de la presente invención tiene dimensión de 200 x 200 puntos entramados en la dirección X e Y, y 260 puntos entramados en la dirección paralela al gradiente de presión aplicada. Los dos fluidos usados en este ejemplo son salmuera y aceite con las
20 siguientes propiedades:

 Salmuera de viscosidad dinámica a 21°C y presión estándar 1.664 cp, y

 Aceite de viscosidad dinámica a 21°C y presión estándar 7.71 cp.

 Las siguientes condiciones iniciales se ajustaron para la simulación:

 Relación de flujo (Darcy) en el régimen permanente es 255 ft/día,

tensión interfacial entre los dos fluidos es 35 dyn/cm,
el ángulo de contacto es 45 grados, de manera que el
agua se considera el fluido humectante, y

cada etapa de tiempo en la simulación corresponde a 0.1
5 micro segundo.

En $t=0$, la imagen segmentada se rellena con aceite al
100% y el agua se inyecta en diferentes relaciones de flujo
dentro de la imagen segmentada. En $t=0$, el área de entrada es
100% asignada a la fase humectante, agua en este caso, de
10 manera que se realiza una inundación de agua primaria
(inyección de agua al 100%).

Después de la inundación inicial, el plano de entrada se
dividió en dos áreas (el área cercana al sólido para
inyección del fluido humectante y el área de poro central
15 para el fluido no humectante) con 67% del área asignada para
el fluido humectante. Esta área de fluido humectante, 67%, se
mantuvo para flujos de aceite fraccionales de 30%, 50%, 70%,
y 80% en volumen. Para flujos de aceite fraccionales
superiores (90%, 93%, 96%), el área de fluido humectante en
20 la entrada se incrementó hasta 82% del área de entrada del
poro total. Se usaron 1.5 millones de etapas de tiempo para
la etapa de inundación inicial. Se usaron 1 millón de etapas
de tiempo para inyecciones de agua posteriores.

La primera corrección con el circuito de
retroalimentación de control se realizó después de 50 etapas
de tiempo. La segunda corrección con el circuito de
retroalimentación de control se realizó después de 5,000
etapas de tiempo. El circuito de retroalimentación de

control se realizó cada 1,000 etapas de tiempo de 5,001 a 150,000 etapas de tiempo, y cada 10,000 etapas de tiempo de 150,001 a ya sea 1.5 millones de etapas de tiempo (para la primera inundación) o a 1 millón de etapas de tiempo para las siguientes inyecciones de flujo fraccional. Cada vez que el flujo fraccional se cambiaba en la entrada, la frecuencia de la acción controladora de retroalimentación se incrementaba a cada 1,000 etapas de tiempo hasta que 150,000 etapas de tiempo subsecuente se completaron.

La constante C en la presión inicial se estableció a 25, que tiene una presión inicial de 1.8 K Pa. Las constantes proporcional, integral y derivada en el controlador PID se establecieron a 10,000, 5,000 (1/saltos de tiempo) y 1,000 (saltos de tiempo) respectivamente. La amplitud de la ventana exponencial de promedio de tiempo fue de manera que 33% del nuevo valor y 66% de los valores previos se sumaron juntos. La tensión de la superficie en la región de entrada de memoria intermedia se estableció a cero. La longitud de la memoria intermedia se estableció a 15 unidades de cuadrícula.

Los valores de permeabilidad relativa y saturación de agua estimados para estos criterios usando el método de la presente invención se muestran en la Figura 12.

Los solicitantes específicamente incorporan los contenidos enteros de todas las referencias citadas en esta descripción. Además, cuando una cantidad, concentración, u otro valor o parámetro se da como ya sea un rango, rango preferido, o una lista de valores preferibles superiores y valores preferibles inferiores, esto va a entenderse como

específicamente describiendo todos los intervalos formados de cualquier par de cualquier límite de intervalo superior o valor preferido y cualquier límite de intervalo inferior o valor preferido, a pesar de si los intervalos se describen por separado. Donde un intervalo de valores numéricos se recita en la presente, a menos que se especifique de otro modo, se pretende que el intervalo incluya los puntos finales del mismo, y todos los enteros y fracciones dentro del intervalo. No se pretende que el enfoque de la invención se limite a valores específicos recitados cuando se define un intervalo.

Otras modalidades de la presente invención serán aparentes para aquellas personas expertas en el método en la técnica de consideración de la presente especificación y práctica de la presente invención descritas en la presente. Se pretende que la presente especificación y los ejemplos se consideren como de ejemplificación sólo con un enfoque real y espíritu de la invención siendo indicados por las siguientes reivindicaciones y equivalentes de las mismas.

20

NOVEDAD DE LA INVENCION

Habiendo descrito la presente invención, se considera como novedad, y por lo tanto se reclama como propiedad lo contenido en las siguientes:

REIVINDICACIONES

1. Un método para simular flujo fraccional de fluidos humectantes y fluidos no humectantes a través de medio poroso
5 caracterizado porque comprende las etapas de:

a) crear una representación digital tridimensional de un medio poroso (Muestra) que contiene un volumen total de fluidos que comprenden fluidos humectantes y fluidos no humectantes,

10 b) definir una primera fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos humectantes y una segunda fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos no humectantes,

c) definir un valor para una relación de flujo del
15 volumen total de fluidos que fluyen a través de la muestra,

d) evaluar las propiedades de los fluidos humectantes y los fluidos no humectantes,

e) definir las condiciones iniciales para saturación de los fluidos humectantes (S_w), saturación de los fluidos no
20 humectantes (S_n), presión de entrada de los fluidos humectantes (P_w) y presión de entrada de los fluidos no humectantes (P_n),

f) ajustar las condiciones en el frente de la entrada de la muestra en donde fluidos no humectantes y fluidos humectantes entran en los poros de la muestra en áreas separadas y distintas, y

g) calcular las presiones, saturación, y vectores de velocidad internos para la muestra,

h) calcular las relaciones de flujo de los fluidos no humectantes (Q_n) a través de la muestra, relaciones de flujo de los fluidos humectantes (Q_w) a través de la muestra, y presión en la salida de la muestra,

5 i) repetir las etapas a) hasta h) durante un número predefinido de incrementos en tiempo, t , y

j) ajustar periódicamente las presiones de entrada P_n y P_w usando un algoritmo de control de retroalimentación en donde valores de estado cuasi-permanente de Q_n y Q_w se
10 alcanzan.

2. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el medio poroso es roca, tierra, zeolita, tejido biológico, madera, corcho, cemento, cerámica, arena, arcilla, compuesto inorgánico, compuesto orgánico, o
15 metal.

3. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque la muestra comprende planos ordenados, múltiples de vóxeles, en donde cada uno de los vóxeles representa un poro (vóxel de poro) o sólido (vóxel de grano).

20 4. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque las propiedades de los fluidos humectantes comprenden viscosidad, ángulo de contacto, tensión interfacial, otras propiedades físicas o químicas o cualesquiera combinaciones de los mismos.

5. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque las propiedades de los fluidos no humectantes comprenden viscosidad, ángulo de contacto, tensión interfacial, otras propiedades físicas o químicas o

cualesquiera combinaciones de los mismos.

6. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque la muestra comprende (a) un frente de entrada y un frente de salida en donde el frente de entrada y el frente de salida son paralelos uno con el otro, y (b) tres o más superficies ortogonales al frente de entrada y el frente de salida, en donde las tres o más superficies ortogonales son impermeables para fluir de los fluidos humectantes y los fluidos no humectantes.

7. El método de conformidad con la reivindicación 6, caracterizado porque el frente de entrada además comprende una zona amortiguadora paralela al frente de entrada que comprende al menos un plano de vóxel.

8. El método de conformidad con la reivindicación 7, caracterizado porque una tensión interfacial entre el fluido humectante y fluido no humectante se ajusta hasta cero para todos los cálculos dentro de la zona amortiguadora.

9. El método de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque la tensión interfacial entre el fluido humectante y fluido no humectante se ajusta hasta cero y las viscosidades del fluido humectante y fluido no humectante se incrementan por un factor de al menos alrededor de 10 veces para todos los cálculos dentro de la zona amortiguadora.

10. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque los fluidos no humectantes y los fluidos humectantes ingresan la muestra a través de poros en el frente de entrada de la muestra.

11. El método de conformidad con la reivindicación 10,

caracterizado porque los poros en el frente de entrada comprenden áreas separadas y distintas formadas al asignar vóxeles de poro inmediatamente adyacentes a un vóxel de grano para el flujo de los fluidos humectantes (A_w) y los vóxeles
5 de poro restantes se asignan para el flujo de los fluidos no humectantes (A_n).

12. El método de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado porque el A_w se incrementa al asignar además vóxeles de poro adyacentes a A_w para el flujo de los fluidos
10 humectantes (A_w) y los vóxeles de poro restantes se asignan para el flujo de los fluidos no humectantes (A_n).

13. El método de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado porque $(\text{suma de vóxeles en } A_n) / ((\text{suma de vóxeles en } A_n) + (\text{suma de vóxeles en } A_w))$ es aproximadamente
15 0.5 o menos.

14. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el cálculo comprende dinámicas de fluido computacional.

15. El método de conformidad con la reivindicación 14,
20 caracterizado porque las dinámicas de fluido computacional comprenden el método de cuadrícula de Boltzmann.

16. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el incremento de tiempo, t , es segundos, mili-segundos u otra unidad de tiempo.

17. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el número de incrementos en tiempo es 10,000 o más.

18. El método de conformidad con la reivindicación 0,

caracterizado porque el algoritmo de control de retroalimentación comprende un algoritmo de control de retroalimentación separado para ajustar la presión de entrada para el fluido humectante y un algoritmo de control de retroalimentación separado para ajustar la presión de entrada para el fluido no humectante, en donde la presión de entrada para el fluido humectante y la presión de entrada para el fluido no humectante se ajustan independientemente.

19. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el algoritmo de control de retroalimentación comprende un algoritmo de control de retroalimentación para ajustar la presión de entrada para tanto el fluido humectante y no humectante, en donde la presión de entrada para el fluido humectante y la presión de entrada para el fluido no humectante son iguales.

20. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el algoritmo de control de retroalimentación comprende un circuito de control proporcional-integral-derivado, un control adaptivo, un control jerárquico, un control inteligente, un control óptimo, un control robusto, un control de red neural, un control lógico difuso, o un control estocástico.

21. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque el algoritmo de control de retroalimentación es un algoritmo de control de retroalimentación negativo.

22. El método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el algoritmo de control de

retroalimentación comprende a circuito de control proporcional-integral-derivado (PID).

23. El método de conformidad con la reivindicación 22, caracterizado porque el circuito PID de control comprende un error de entrada E_w y saca una presión de entrada nueva, P_w , en donde

$$P_w = P_i + P_i * \pi_w$$

P_i = la presión inicial fijada al inicio de la simulación

10 $\pi_w = f(E_w)$ tales como $K_p * E_w + K_i \int E_w dt + K_d \frac{dE_w}{dt}$

K_p = constante de control proporcional,

K_i = constante de control integral,

K_d = constante de control derivada,

$E_w = Q_w T - Q_w$, y

15 $Q_w T = Q_T * F_w$,

Q_T = la relación de flujo total objetivo a través de la muestra,

F_w = la fracción de fluido humectante que ingresa en el frente de entrada de la muestra,

20 Q_w = un promedio de valores de $Q_w t$, y

$Q_w t$ = la relación de fluido calculado de fluido humectante e intervalo de tiempo, t .

24. El método de conformidad con la reivindicación 23, caracterizado porque Q_w comprende un promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, un promedio ponderado armónico, un promedio ondulado sencillo, un promedio de movimiento exponencialmente ponderado u otro método para promediar una serie de números.

25. El método de conformidad con la reivindicación 22, caracterizado porque el circuito PID de control comprende un error de entrada E_n y saca una presión de entrada nueva, P_n , en donde

$$P_n = P_i + P_i * nn$$

P_i = la presión inicial fijada al inicio de la simulación

$$nn = f(E_n) \text{ tales como } K_p * E_n + K_i \int E_n dt + K_d \frac{dE_n}{dt}$$

K_p = constante de control proporcional,

K_i = constante de control integral,

K_d = constante de control derivada,

$E_n = Q_n T - Q_N$, y

$Q_n T = Q_T * F_n$,

Q_T = la relación de flujo total objetivo a través de la muestra,

F_n = la fracción de fluido no humectante que ingresa en el frente de entrada de la muestra,

Q_N = un promedio de valores de Q_{nt} , y

Q_{nt} = la relación de fluido calculado de fluido no humectante e intervalo de tiempo, t .

26. El método de conformidad con la reivindicación 25, caracterizado porque Q_N comprende un promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, un promedio ponderado armónico, un promedio ondulado sencillo, un promedio de movimiento exponencialmente ponderado u otro método para promediar una serie de números.

27. El método de conformidad con la reivindicación 22, caracterizado porque el circuito PID de control comprende un

7/18

error de entrada E_c y saca una presión de entrada nueva, P_c , en donde

$$P_c = P_i + P_i * n_c$$

P_i = la presión inicial fijada al inicio de la
5 simulación

$$n_c = f(E_c) \text{ tales como } K_p * E_c + K_i \int E_c dt + K_D \frac{dE_c}{dt}$$

K_p = constante de control proporcional,

K_i = constante de control integral,

K_D = constante de control derivada,

10

$E_c = Q_T - Q_C$, and

Q_T = la relación de flujo total objetivo a través de la muestra,

Q_C = un promedio de valores de $Q_{wt} + Q_{nt}$,

15

Q_{nt} = la relación de fluido calculado de fluido no humectante e intervalo de tiempo, t , and

Q_{wt} = la relación de fluido calculado de fluido humectante e intervalo de tiempo, t .

20

28. El método de conformidad con la reivindicación 27, caracterizado porque Q_T comprende un promedio ponderado aritmético, un promedio ponderado geométrico, un promedio ponderado armónico, un promedio ondulado sencillo, un promedio de movimiento exponencialmente ponderado u otro método para promediar una serie de números.

29. El método de conformidad con la reivindicación 0, caracterizado porque las presiones de entrada periódicamente ajustadas ocurren alrededor de una vez cada 10 incrementos en tiempo o más alto.

30. El método de conformidad con la reivindicación 29,

caracterizado porque el número de incrementos en tiempo de ajustes periódicos posteriores de presión de entrada son diferentes.

31. El método de conformidad con la reivindicación 0,
5 caracterizado porque las presiones de entrada periódicamente ajustadas ocurren más a menudo en la primera mitad del tiempo total de la simulación que en la segunda mitad de la simulación.

32. El método de conformidad con la reivindicación 31,
10 caracterizado porque las presiones de entrada periódicamente ajustadas en la primera mitad del tiempo total de simulación ocurren al menos 10 veces más que en la segunda mitad.

33. El método de conformidad con la reivindicación 0,
caracterizado porque el estado cuasi-permanente es donde los
15 valores calculados de Q_n , Q_w , P_n , P_w y/o saturación varían no más de un valor pre-determinado.

34. El método de conformidad con la reivindicación 0,
caracterizado porque el número predefinido de incrementos en
tiempo, t , se ajustan suficientemente grande para lograr
20 estado cuasi-permanente.

35. Un método para calcular permeabilidad relativa de fluidos humectantes y no humectantes fluyendo a través de un medio poroso caracterizado porque comprende

a) definir una serie de pares de fluidos no humectantes y fluido humectantes, cada par que está forzado a través de la muestra,

b) ajustar una saturación de muestra inicial,

c) forzar cada par de fluidos humectantes y no

humectantes a través de la muestra,

d) registrar los valores calculados de QN, QW y fluido humectante saturación, S_w para cada par de fluidos humectantes y no humectantes,

5 e) calcular valores de permeabilidad relativa del fluido humectante, k_w ; calcular valores de la permeabilidad relativa del fluido no humectante, k_n ; y calcular valores de la saturación de agua, S_w , y

f) generar un gráfica de valores de k_w y k_n contra S_w .

10 36. El método de conformidad con la reivindicación 35, caracterizado porque el medio poroso es roca, tierra, zeolita, tejido biológico, madera, corcho, cemento, cerámica, arena, arcilla, roca, compuesto inorgánico, compuesto orgánico, o metal.

15 37. El método de conformidad con la reivindicación 35, caracterizado porque un par de fluido humectante y no humectante comprenden una composición fraccional del fluido no humectante y un valor fraccional del fluido humectante (F_n , F_w).

20 38. El método de conformidad con la reivindicación 37, caracterizado porque el par de fluido humectante y no humectante comprende una pluralidad de pares de (F_n , F_w) en donde cualquier combinación de F_n y F_w tiene una suma que es igual a 1.

39. El método de conformidad con la reivindicación 37, caracterizado porque el par de fluido humectante y no humectante comprende una pluralidad de pares de (F_n' , F_w') en donde F_n' se calcula como el valor de ($F_n \times R$) y F_w' se

calcula como el valor de $(1-(F_n \times R))$, en donde R es la relación de viscosidades de la fase de viscosidad baja a la fase de viscosidad alta de los fluidos humectantes y no humectantes, y cualquier combinación de F_n' y F_w' tiene una
5 suma que es igual a 1.

40. El método de conformidad con la reivindicación 37, caracterizado porque los pares de fluido humectante y no humectante comprenden una serie ordenada de valores en la que F_n disminuye en las etapas hasta cero y luego disminuye a
10 1.0.

41. El método de conformidad con la reivindicación 35, caracterizado porque la saturación de muestra inicial es una saturación de fluido humectante total, S_w , = 1.0, y una saturación total de fluido no humectante, S_n , = 1.0.

15 42. El método de conformidad con la reivindicación 35, caracterizado porque la saturación de muestra inicial es la condición de saturación final de una simulación previa.

43. El método de conformidad con la reivindicación 35, caracterizado porque el área fraccional de los poros en el
20 frente de entrada asignado para inyección de fluido no humectante, A_n , se disminuye cuando F_n es menor que alrededor de 0.2.

44. El método de conformidad con la reivindicación 43, caracterizado porque A_n se reduce hasta alrededor de 0.4 o menos.

45. Un sistema que calcula el flujo de componente múltiple, fase múltiple fraccional a través de un medio poroso caracterizado porque comprende:

a) un escáner capaz de producir una imagen digital tridimensional de un medio poroso,

b) una computadora que comprende al menos un procesador operable para ejecutar un programa de computadora
5 capaz de clasificar elementos en la imagen digital tridimensional como sólido (grano) y poro (vacío),

c) una computadora (igual o diferente de b)) que comprende al menos un procesador operable para ejecutar un programa de computadora capaz de realizar cálculos, en donde
10 los cálculos comprenden (i) crear una representación digital tridimensional de un medio poroso (Muestra) que contiene un volumen total de fluidos que comprenden fluidos humectantes y fluidos no humectantes, (ii) definir una primera fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos
15 humectantes y definir una segunda fracción del volumen total de fluidos que comprende los fluidos no humectantes, (iii) definir un valor para una relación de flujo del volumen total de fluidos que fluyen a través de la muestra, (iv) evaluar las propiedades de los fluidos humectantes y los fluidos no
20 humectantes, (v) definir las condiciones iniciales para saturación de los fluidos humectantes (S_w), saturación de los fluidos no humectantes (S_n), presión de entrada de los fluidos humectantes (P_w) y presión de entrada de los fluidos no humectantes (P_n), (vi) ajustar las condiciones en el frente de la entrada de la muestra en donde fluidos no humectantes y fluidos humectantes entran en los poros de la muestra en áreas separadas y distintas, y (vii) calcular las presiones, saturación, y vectores de velocidad internos para

una muestra del medio poroso, (viii) calcular las relaciones de flujo de los fluidos no humectantes (Q_n) a través de la muestra, relaciones de flujo de los fluidos humectantes (Q_w) a través de la muestra, y presión en la salida de la muestra, (ix) repetir las etapas (i) a través de (viii) durante un número predefinido de incrementos en tiempo, t , y (x) ajustar periódicamente las presiones de entrada P_n y P_w usando un algoritmo de control de retroalimentación en donde valores de estado cuasi-permanente para Q_n y Q_w se alcanzan, y

10 d) al menos un dispositivo para mostrar, imprimir, o almacenar los resultados de los cálculos.

46. El sistema de conformidad con la reivindicación 45, caracterizado porque el escáner comprende un escáner tomográfico para computadora (CT), un microscopio de electrones de barrido (SEM), un microscopio de electrones de barrido de haz de iones enfocados (FIB-SEM), o dispositivo similar capaz de producir una imagen digital tridimensional de un medio poroso.

47. El sistema de conformidad con la reivindicación 45, caracterizado porque el dispositivo comprende un dispositivo de memoria para almacenamiento recuperable de los resultados de los cálculos.

48. Un producto del programa de computadora en un medio legible en computadora caracterizado porque, cuando se realiza en un controlador en un dispositivo computarizado proporciona un método para realizar los cálculos de conformidad con la reivindicación 45.

RESUMEN DE LA INVENCION

Se describe un método para calcular o estimar flujo de fase múltiple/componente múltiple, fraccional a través de un medio poroso que emplea una representación digital 3D de un medio poroso y un método de dinámicas de fluido computacional para calcular relaciones de flujo, presiones, saturaciones, vectores internos de velocidad y otros parámetros de flujo. El método emplea un método único de introducir fluidos humectantes y no humectantes en los poros en el frente de la entrada de la representación digital 3D digital de un medio poroso y una aplicación de control de proceso novedosa para lograr flujo de estado cuasi-permanente en concentraciones de entrada bajas de fluido no humectante. Además, el método de la presente invención reduce el tiempo requerido para estimular para completar los cálculos dinámicos de fluido. Los valores resultantes de flujo de fluido no humectante, fluido humectante, saturación, y otros parámetros se usan para generar gráficas de absorción de permeabilidad relativa y curvas de drenaje. También se proporcionan sistemas y programas computarizados para realizar el método.

84
85

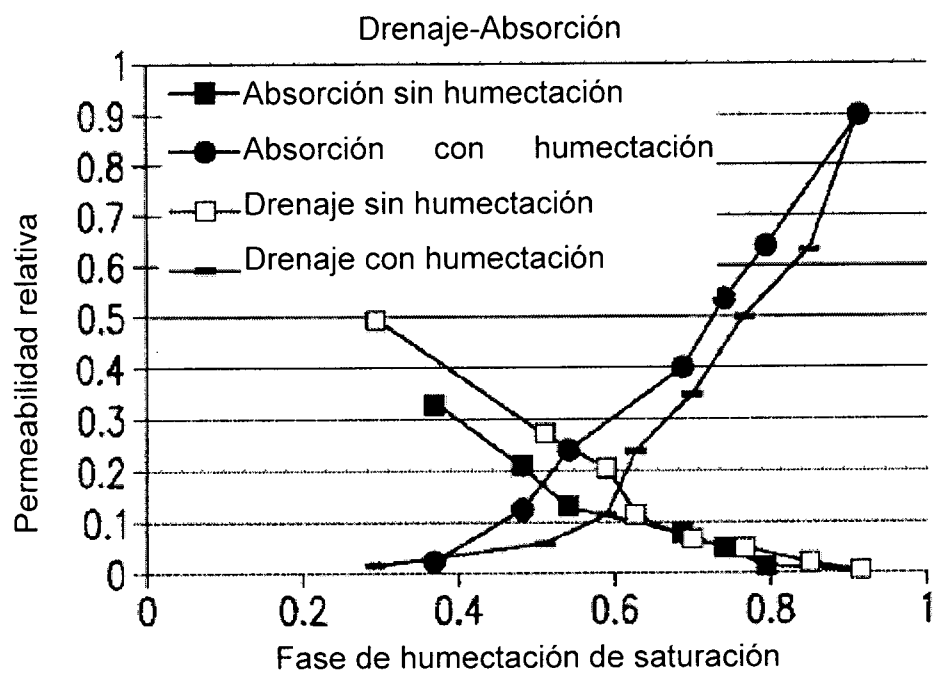


FIG. 1

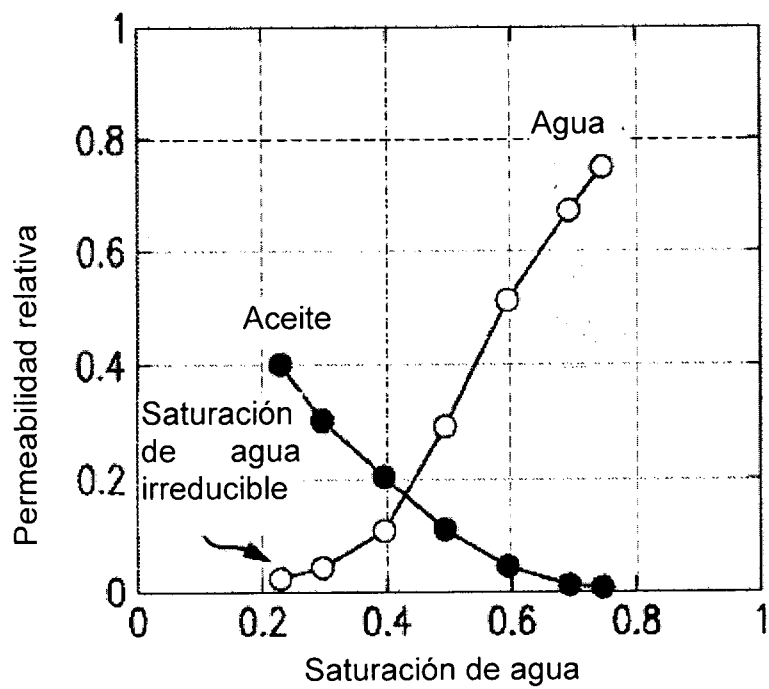


FIG. 2

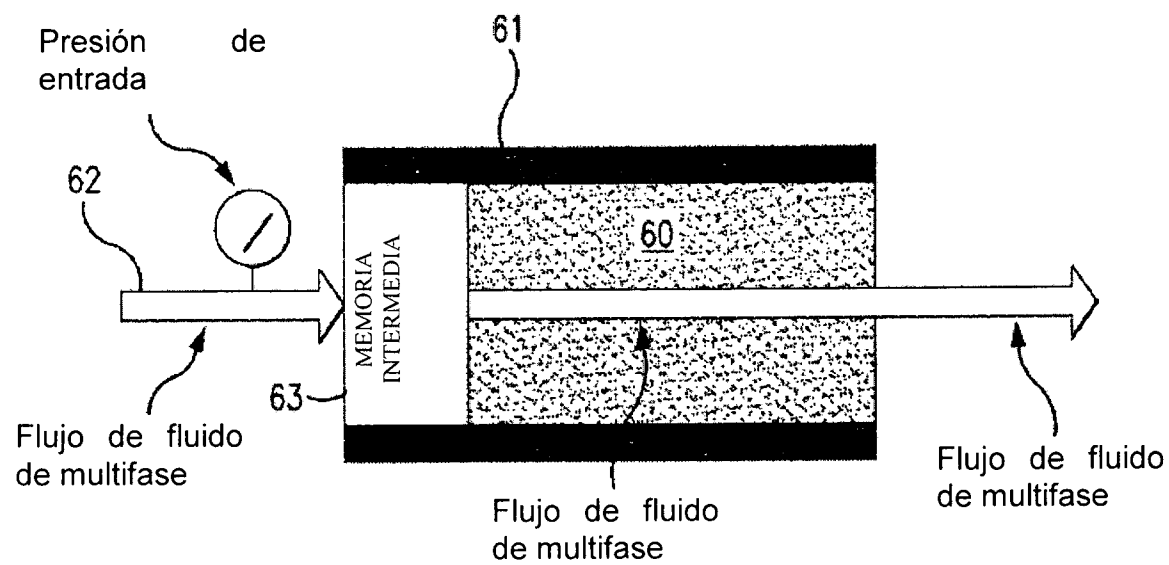
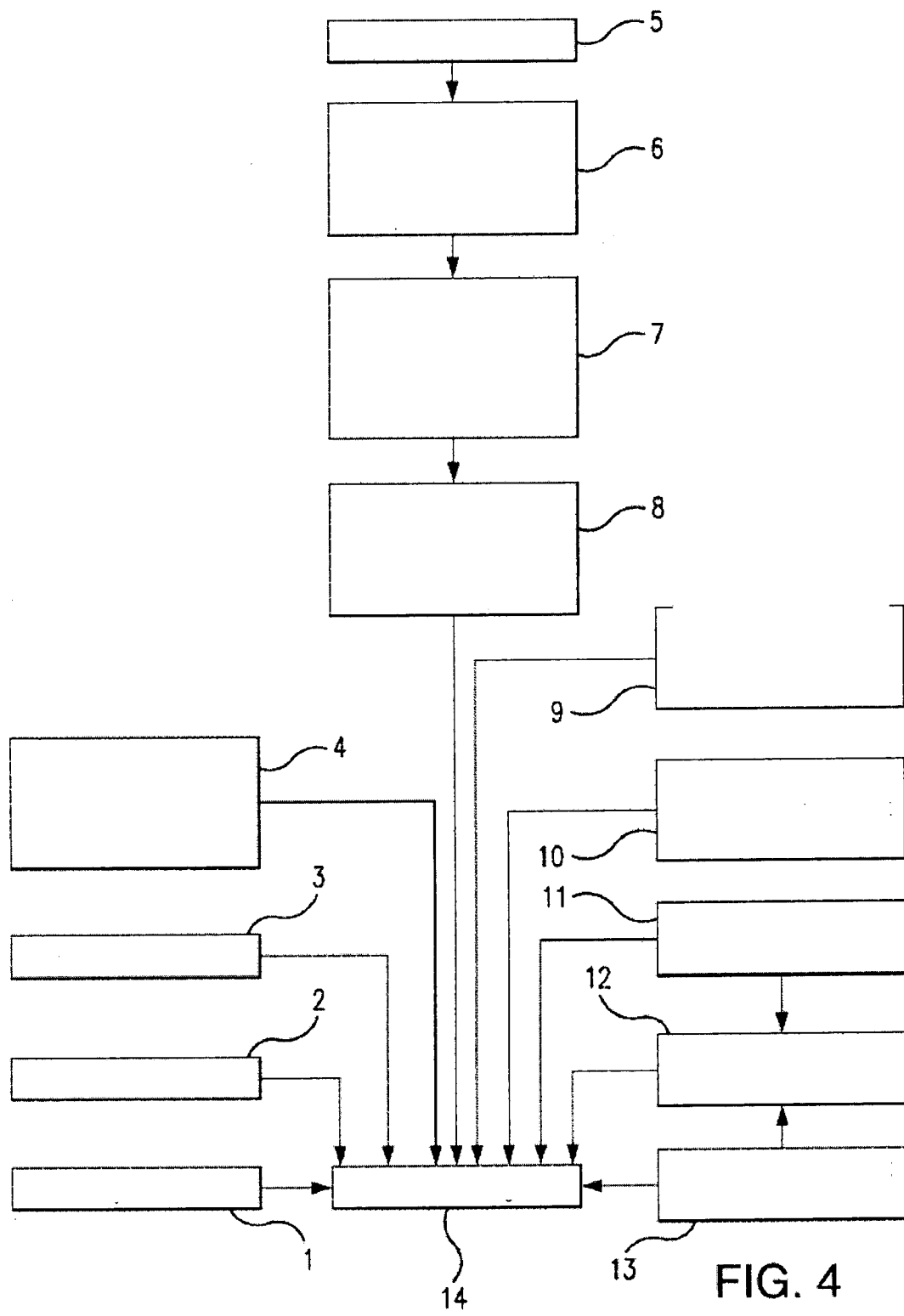


FIG. 3

88



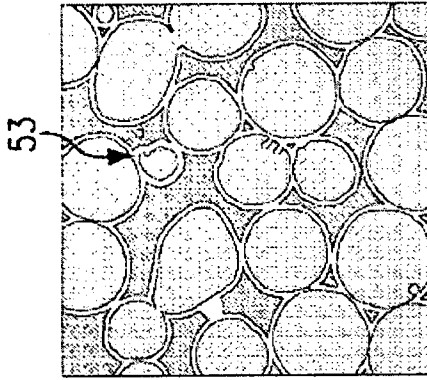


FIG. 5c

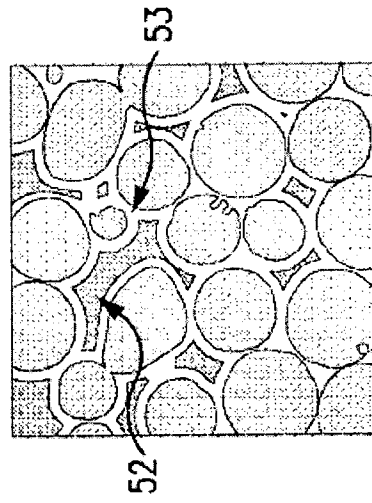


FIG. 5f

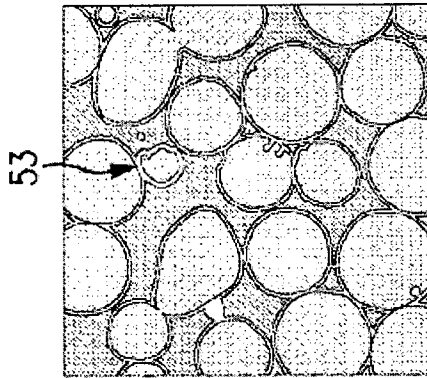


FIG. 5b

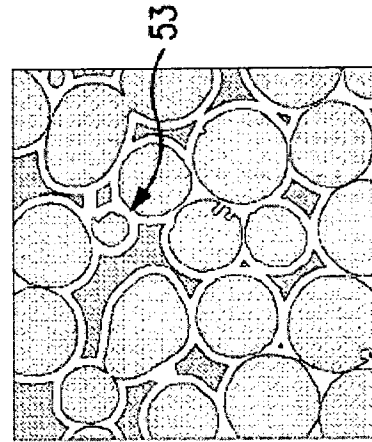


FIG. 5e

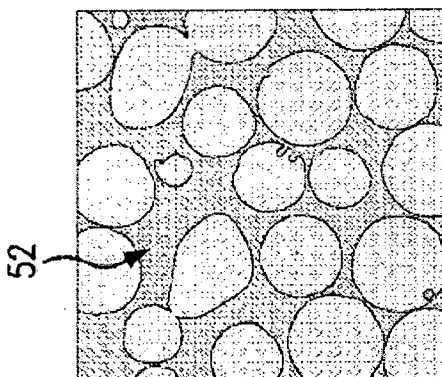


FIG. 5a

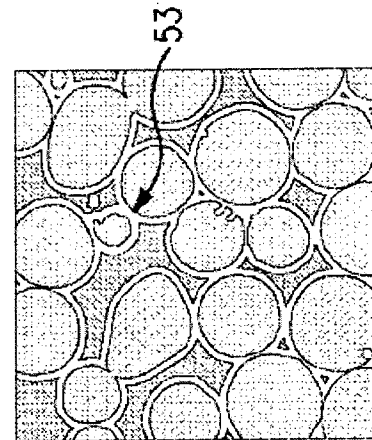


FIG. 5d

FIG. 6a

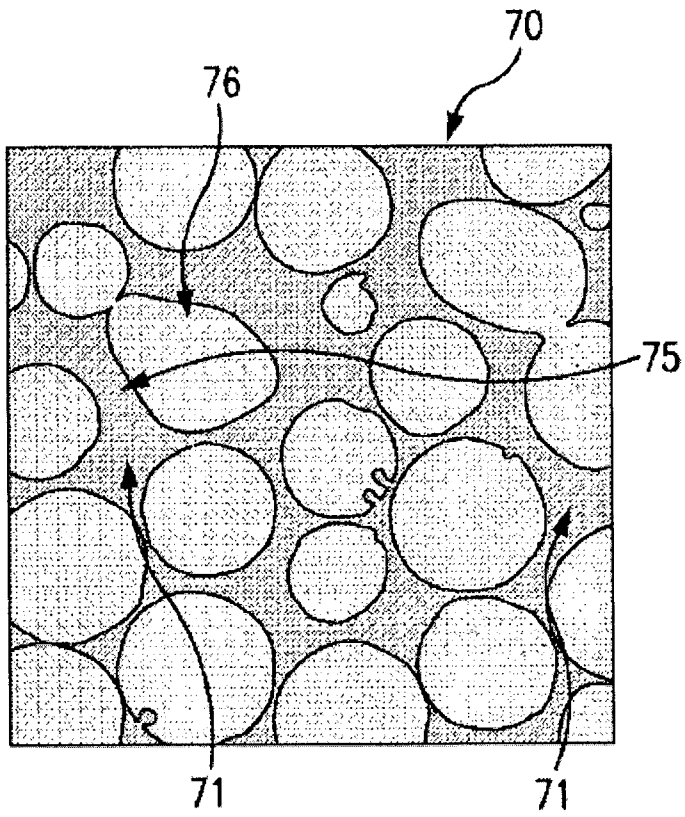


FIG. 6b

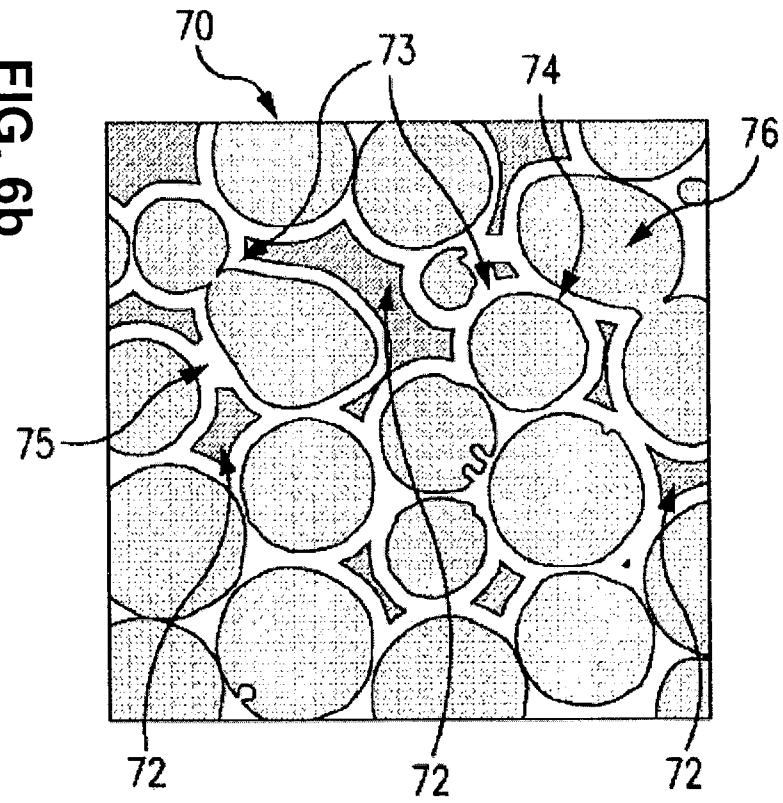
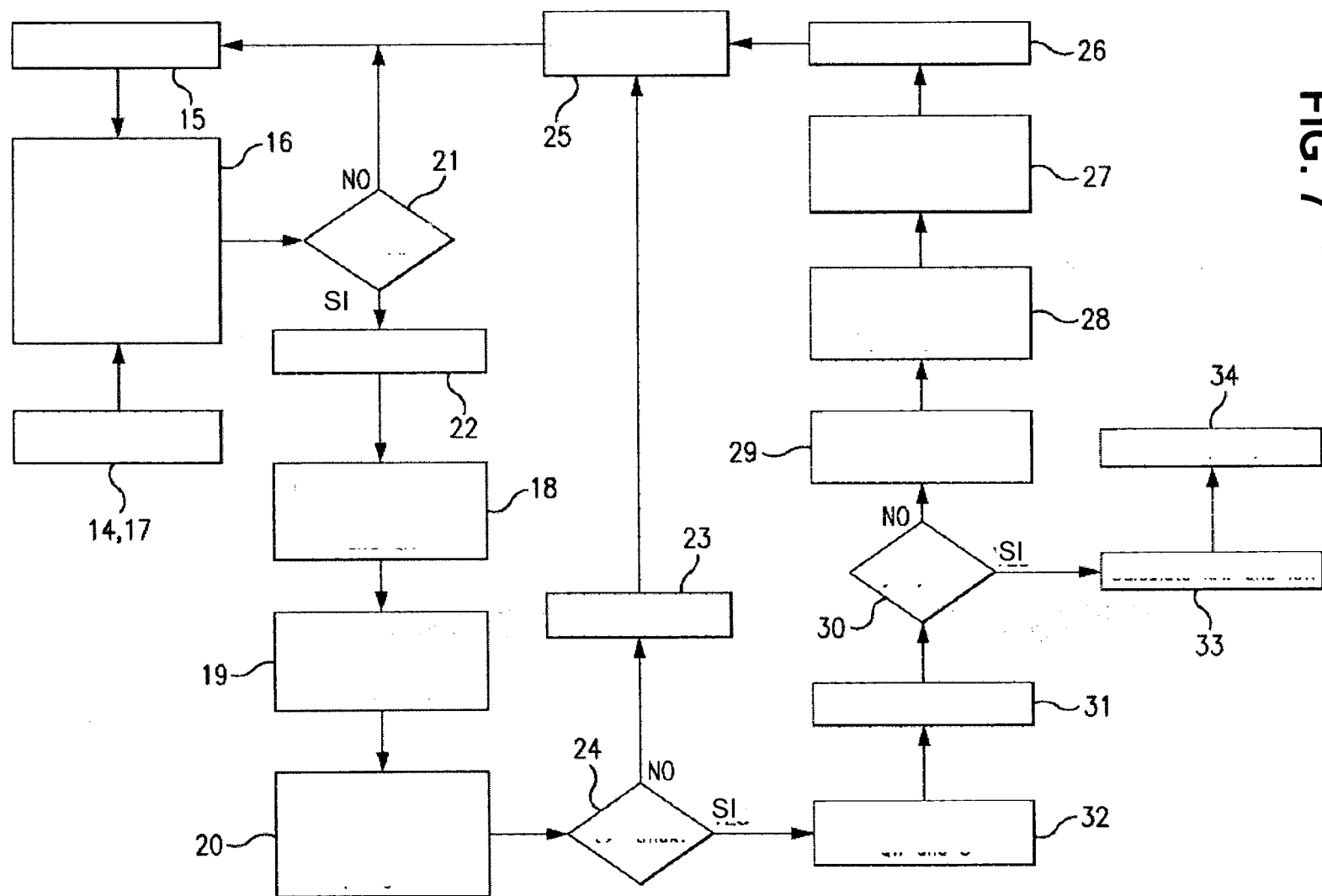


FIG. 7



16 06

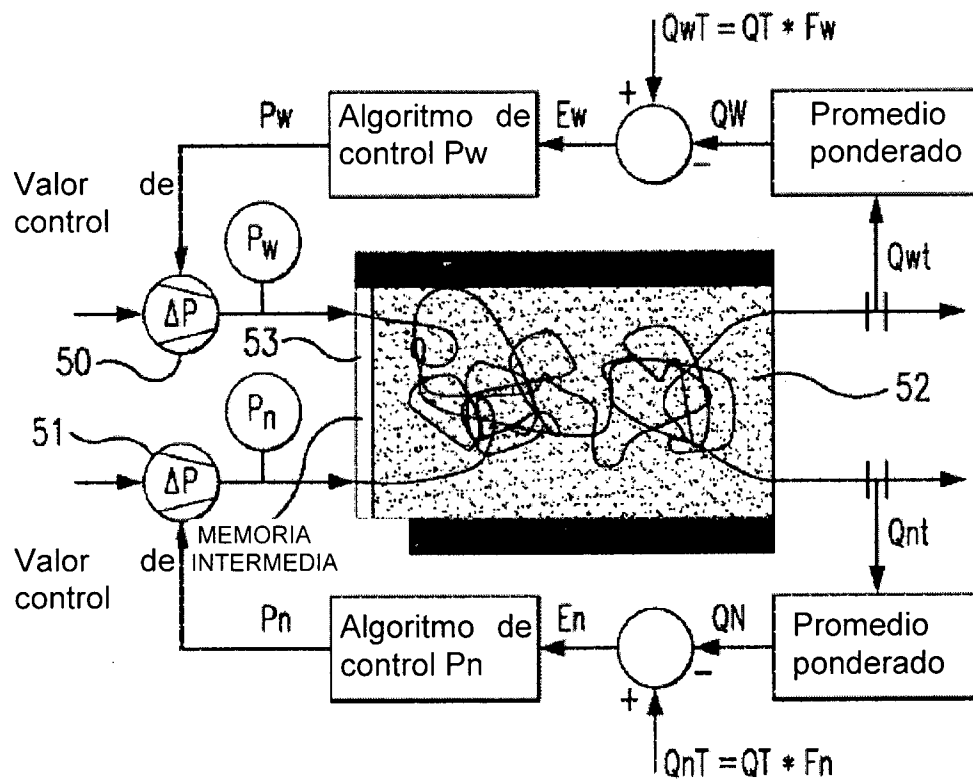


FIG. 8a

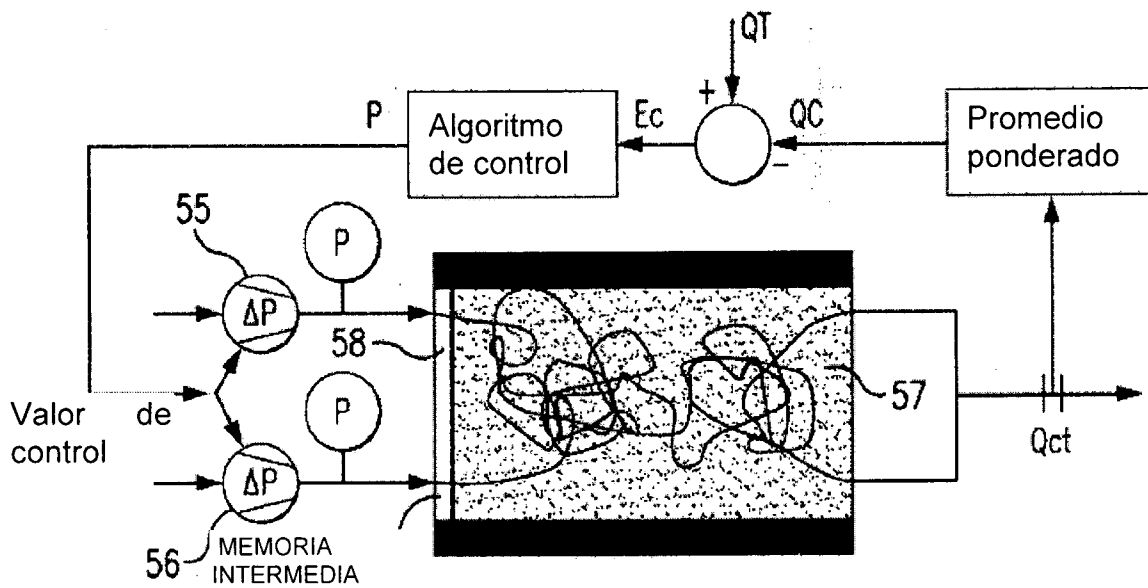


FIG. 8b

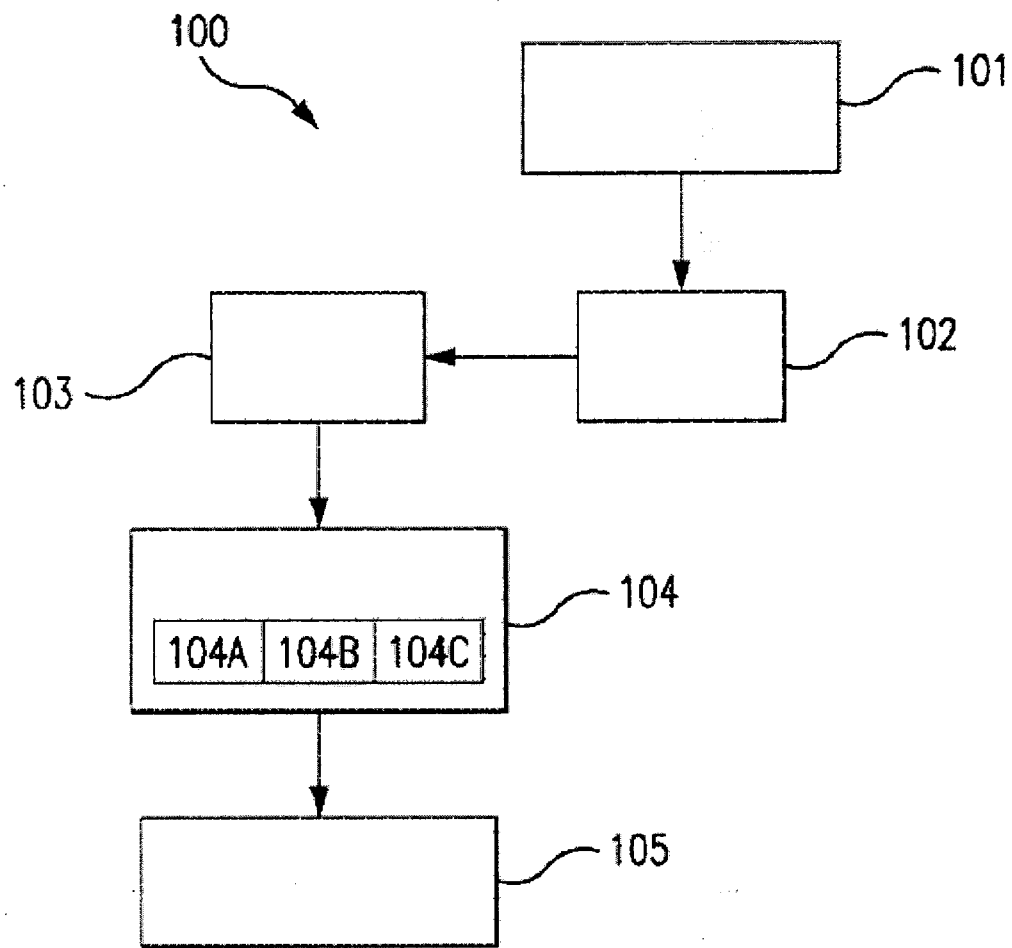


FIG. 9

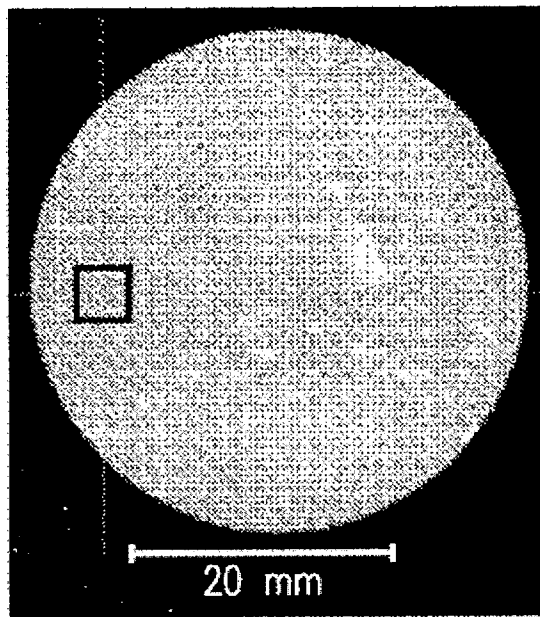


FIG. 10

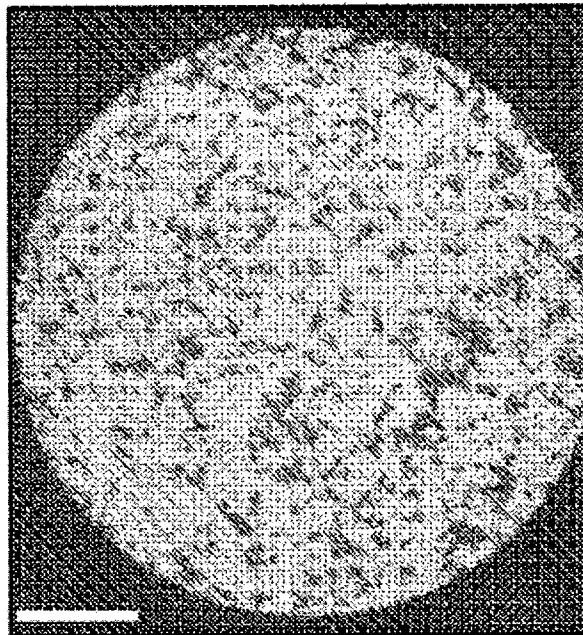


FIG. 11

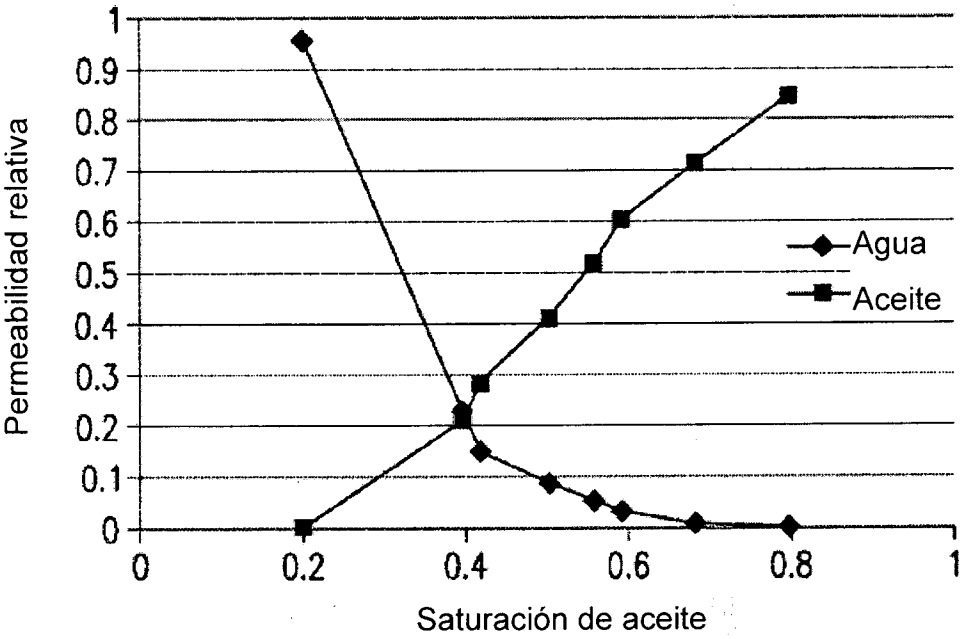


FIG. 12

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property
Organization
International Bureau



(10) International Publication Number
WO 2013/009512 A2

(43) International Publication Date
17 January 2013 (17.01.2013)

WIPO | PCT

(51) International Patent Classification:
E21B 47/10 (2012.01)

(21) International Application Number:
PCT/US2012/045220

(22) International Filing Date:
2 July 2012 (02.07.2012)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
61/506,680 12 July 2011 (12.07.2011) US

(71) Applicant (for all designated States except US): IN-
GRAIN, INC. [US/US]; 3733 Westheimer Road, 2nd
Floor, Houston, TX 77027 (US).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants (for US only): DE PRISCO, Gi-
useppe [IT/US]; C/o Ingrain, Inc., 3733 Westheimer Road,
2nd Floor, Houston, CA 77027 (US). TOELKE, Jonas
[DE/US]; C/o Ingrain, Inc., 3733 Westheimer Road, 2nd
Floor, Houston, TX 77027 (US). MU, Yaoming [US/US];
C/o Ingrain, Inc., 3733 Westheimer Road, 2nd Floor, Hou-
ston, TX 77027 (US).

(74) Agent: KILYK, Luke, A.; Kilyk & Bowersox, P.L.L.C.,
400 Holiday Court, Suite 102, Warrenton, VA 20186 (US).

(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every
kind of national protection available): AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every
kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:

— without international search report and to be republished
upon receipt of that report (Rule 48.2(g))

(54) Title: METHOD FOR SIMULATING FRACTIONAL MULTI-PHASE/MULTI-COMPONENT FLOW THROUGH POROUS
MEDIA

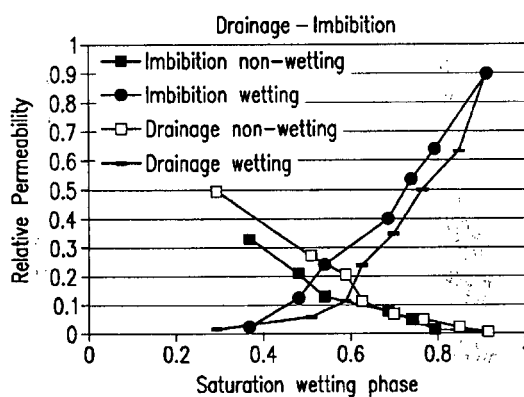


FIG. 1

(57) Abstract: A method for computing or estimating fractional, multi-phase/multi-component flow through a porous medium em-
ploying a 3D digital representation of a porous medium and a computational fluid dynamics method to calculate flow rates, pres-
sures, saturations, internal velocity vectors and other flow parameters is described. The method employs a unique method of introdu-
cing non- wetting and wetting fluids into the pores at the inlet face of the 3D digital representation of a porous medium and a novel
process control application to achieve quasi-steady state flow at low inlet concentrations of non-wetting fluid. In addition, the meth-
od of the present invention reduces the time required to simulate to complete the fluid dynamic calculations. The resulting values of
flow of non-wetting fluid, wetting fluid, saturation, and other parameters are used to generate plots of relative permeability imbibition
and drainage curves. Computerized systems and programs for performing the method are also provided.

WO 2013/009512 A2

95
96

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800.176.089-2

- / -

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

RECIBO DE CAJA

No. 14 - 001150

Bogotá D.C., Enero 08 de 2014 - 15:18:09

RECIBIDO DE : CLARKE MODET

NI 830.008.643

*** Soporte del Pago ***

TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR. PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	569012835	08/01/2014	90.526.000.00

*** Conceptos Pagados ***

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr. UNDITARIO	Vr. CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE INVENCIÓN	515.000.00	515.000.00
				\$515.000.00

SON: **QUINIENTOSQUINCE MIL PESOS MONEDA CORRIENTE**

Responsable: _____

Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 14-005026- -00000-0000

Fecha: 2014-01-13 15:26:22 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 98

97

Sede Centro: Carrera 13 No. 27 - 00 Pisos 3,4,5 y 10 Bogotá, D.C.- Colombia

Web: www.sic.gov.co e-mail: info@sic.gov.co Conmutador: (571) 5870000 Fax: (571) 5870284 Línea: 018000-910165 Call Center: (571) 6513240

Enero 8 de 2014 - 15:18:32

6

97

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800.176.089-2

-/-



RECIBO DE CAJA

No. 14 - 001524

Bogotá D.C., Enero 09 de 2014 - 13:10:11

RECIBIDO DE : CLARKE MODET

NI 830.008.643

*** Soporte del Pago ***

TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR. PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	560783204	09/01/2014	8.897.000.00

*** Conceptos Pagados ***

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr. UNIDITARIO	Vr. CONCEPTO
38	50005-01-01 SOLICITUDES	1607 REIVINDICACION PATENTE UNITARIA ADICIONAL A LAS 10 INIC	31.000.00	1.178.000.00
				\$1.178.000.00

SON: **UN MILL Y CINCO CIENTO SETENTA Y OCHO MIL PESOS MONEDA CORRIENTE**

Responsable: _____

Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

No. 14-005026-00000-0000

Fecha: 2014-01-13 15:26:22 Dep. 2020 DIR. NUEVASCR

Tra. 11 PATENTE IYII Eve: 378 FASENACIONALI

Act. 411 PRESENTACION Folios: 98

Sede Centro: Carrera 13 No. 27 - 00 Pisos 3,4,5 y 10 Bogotá, D.C.- Colombia

Web: www.sic.gov.co e-mail: info@sic.gov.co Conmutador: (571) 5870000 Fax: (571) 5870284 Línea: 018000-910165 Call Center: (571) 6513240

Enero 9 de 2014 - 13:10:12

PATENTE DE INVENCION ☐

MODELO DE UTILIDAD ☐

Art 33 Decisión 486/00

- ☐ Indicación que se solicita una patente.
 - ☐ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud
 - ☐ Descripción de la invención
 - ☐ Dibujos de ser estos pertinentes
 - ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas (De ser el caso formato de descuento)
- Completa ☐ Incompleta ☐

PATENTE DE INVENCION PCT ☐ MODELO DE UTILIDAD PCT ☐ Art.33 Decisión 486/00, Circular Única

- ☐ Indicación que se solicita una PCT
 - ☐ Copia de la solicitud en español, tal como fue presentada inicialmente (capítulo descriptivo, reivindicatorio, resumen)
 - ☐ Dibujos de ser estos pertinentes
 - ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas (de ser el caso formato de descuento)
- Completa ☐ Incompleta ☐

DISEÑO INDUSTRIAL ☐

(Art. 119 Decisión 486/00)

- ☐ Indicación que se solicita Diseño industrial
 - ☐ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud
 - ☐ Representación gráfica y fotográfica del Diseño industrial o muestra del material que incorpora el diseño
 - ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas
- Completa ☐ Incompleta ☐

ESQUEMA DE TRAZADO ☐

(Art. 92 Decisión 486/00)

- ☐ Indicación que se solicita un esquema de trazado
 - ☐ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud
 - ☐ Representación gráfica de un esquema de trazado
 - ☐ Comprobante de pago de las tasas establecidas
- Completa ☐ Incompleta ☐

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 14-005026- -00000-0000

Fecha: 2014-01-13 15:26:22 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 98 