



No. 12-150305-00000-0000

Fecha: 2012-09-03 16:00:49
Tra. 11 PATENTEIYII
Act. 411 PRESENTACION

Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Eve: 378 FASENACIONALI
Folios: 217



Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

DELEGATURA PROPIEDAD INDUSTRIAL

SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION
PCT

EXPEDIENTE No _____

TITULO MÉTODO Y APARATO PARA LA
SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL FONDO DEL POZO
AUTÓNOMO CON SISTEMA DE RESISTENCIA
DEPENDIENTE DE LA VÍA

CLASIFICACION INTERNACIONAL _____

SOLICITANTE HALLIBURTON ENERGY SERVICES,
INC

DOMICILIO Japón

APODERADO LUZ HELENA ADARVE GOMEZ

BOGOTA D.C. _____

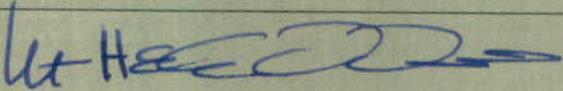


No. 12-150305- -00000-0000

Fecha: 2012-09-03 16:00:49 Dep. 2020 DIR NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 217

DIRECCIÓN DE NUEVAS CREACIONES
SOLICITUD FASE NACIONAL -PCT

1	(12) TIPO DE SOLICITUD	☒	Patente de invención	☐	Patente de Modelo de Utilidad
		☒	Capitulo I	☐	Capitulo II
2	DATOS SOLICITUD INTERNACIONAL PCT (86)				
	Solicitud Internacional No.	PCT/US2011/022617		Fecha	26.01.2011
	Publicación Internacional No.	WO 2011/097101 A1		Fecha	11.08.2011
3	(54) TÍTULO DE LA INVENCIÓN (200 caracteres o espacios máximos)				
	MÉTODO Y APARATO PARA LA SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL FONDO DEL POZO AUTÓNOMO CON SISTEMA DE RESISTENCIA DEPENDIENTE DE LA VÍA				
4	CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL (51) CIP				
5	(71) SOLICITANTE (S) ☐ Esta persona también es inventor. Para datos adicionales utilizar hoja de información complementaria				
	APELLIDOS O RAZÓN SOCIAL		NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	TIPO
	HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC				
6	DATOS DEL SOLICITANTE				
	DIRECCIÓN	10200 Bellaire Boulevard, 77072		No. TELÉFONO	313 7800
	CIUDAD	Houston		E-MAIL	infopi@cardenasycardenas.com
	DEPARTAMENTO/ESTADO	Texas		NACIONALIDAD O	
	PAÍS DE RESIDENCIA	Estados Unidos de América		LUGAR DE CONSTITUCIÓN	Estados Unidos de América
7	(72) INVENTOR (ES) Para datos adicionales utilizar hoja de información complementaria				
	APELLIDOS		NOMBRE	NACIONALIDAD	
	1.DYKSTRA		Jason, D.	Estadounidense	
	2.FRIPP		Michael Linley	Estadounidense	
	3. DEJESUS		Orlando	Estadounidense	
	4. GANO		John, C	Estadounidense	
	5. HOLDERMAN		Luke	Estadounidense	
	DIRECCIÓN DE CORREO ELECTRÓNICO:				
8	DATOS INVENTOR (ES)				
	PAÍS RESIDENCIA	DEPARTAMENTO	CIUDAD	DIRECCIÓN	
	1.Estados Unidos de América	Texas	Carrollton	3405 Hillpark Lane, Carrollton, TX 75007	
	2. Estados Unidos de América	Texas	Carrollton	3826 Cemetery Hill Road, Carrollton, TX 75007	
	3. Estados Unidos de América	Texas	Carrollton	1421 Flowers Drive, Carrollton, TX 75007	
	4. Estados Unidos de América	Texas	Carrollton	2015 White Ash Rd., Carrollton, TX 75007	
	5. Estados Unidos de América	Texas	Carrollton	3709 Campstone, Plano, TX 75023	
	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	(74)	REPRESENTANTE	☒	APODERADO	
	APELLIDOS		NOMBRES	IDENTIFICACIÓN	
	ADARVE GOMEZ		LUZ HELENA	C.C.41575435BTA T.P.14884 CSJ	
	DIRECCIÓN	Carrera 7 No 71-52 Torre B Piso 9		No. TELÉFONO	313 7800
	CIUDAD	BOGOTA		E-MAIL	infopi@cardenasycardenas.com
	PAÍS	COLOMBIA		No. DE PROTOCOLO EN LA OFICINA	

10	(30)	DECLARACIONES DE PRIORIDAD	x	SI		NO
(33) PAÍS DE ORIGEN		CÓDIGO PAÍS	(31) NÚMERO		(32) FECHA (AAAA/MM/DD)	
1. Estados Unidos de América		US	12/700,685		04.02.2010	
2.						
3.						
http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?sessionId=67EF5852C3ED16D36840ECC22121D9CE.wapp2?docId=WO2011097101&recNum=184&tab=PCTDocuments&maxRec=2728&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=%28FP%2Fdownhole%29%2520						
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		
☐ Copia simple de la declaración de renta del año inmediatamente anterior, o en su defecto prueba documental idónea.		☐ Copia acto de reconocimiento institucional emitido por el Ministerio de Educación. Acreditación Colciencias.		☐ Copia de registro vigente en Cámara de comercio.		
☐ Documento de constancia de cumplimiento con lo establecido en la ley 905 de 2004.				☐ Hoja de información complementaria.		
				☐ Otros, especificar		
14	AUTORIZACIÓN DE NOTIFICACIÓN EN LÍNEA		SI	x	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.						
14	COMPROBANTE DE PAGO O PAGO ELECTRÓNICO		N° 12-0087430		Fecha 24.08.2012	
15	FIRMA DEL SOLICITANTE, DEL APODERADO O DEL REPRESENTANTE LEGAL					
Junto a cada firma, indicar el nombre del firmante y su calidad (si tal calidad no es obvia al leer el petitorio)						
						
LUZ HELENA ADARVE GOMEZ						
16	ORDEN Y RELACIÓN DE DOCUMENTOS QUE ACOMPAÑAN LA SOLICITUD					
Documentación Técnica Solicitud Internacional en castellano			Documentación Jurídica			
1.	☒ Descripción	N° de folios: 58	9.	☒ Poderes, si fuera el caso.		
2.	☒ Reivindicaciones.....	N° Reivindicaciones 200	10.	☐ Documento que legalmente pruebe la cesión del inventor al solicitante o a su causante		
3.	☒ Dibujos y/o figuras	N° folios: 23	11.	☐ Copia del contrato de acceso de recursos genéticos o productos derivados, certificado o número de registro, si fuera el caso.		
4.	☒ Resumen.		12.	☐ Copia de la licencia o autorización de Conocimientos Tradicionales, certificado o número de registro, si fuera el caso.		
5.	☐ Certificado de depósito de material biológico si fuera el caso		13.	☐ Documento que acredita la existencia y representación legal, cuando el solicitante es persona jurídica.		
6.	☐ Listado de secuencias de nucleótidos y/o aminoácidos en forma digital si fuera el caso		14.	☒ Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud.		
7.	☒ Arte final 12 x 12.		15.	☐ Comprobante de pago por reivindicación de prioridad.		
8.	☐ Anexo formato digital.		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.		

☐

Patente de Invención

☐

Patente modelo de utilidad

☒

PCT

(21) No De solicitud	(51) int. Cl:
(22) Fecha de solicitud	(71) Solicitante (s) HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC
(30) Prioridad	(72) Inventor (es) DYKSTRA Jason D; FRIPP Michael Linley; DEJESUS Orlando; GANO John, C; HOLDERMAN Luke
(31) No Prioridad 12/700,685	
(32) Fecha 04.02.2010	
(33) País US	(74) Apoderado (s) LUZ HELENA ADARVE GOMEZ
(54) Título MÉTODO Y APARATO PARA LA SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL FONDO DELPOZO AUTÓNOMO CON SISTEMA DE RESISTENCIA DEPENDIENTE DE LA VÍA	
Las casillas identificadas con 85, 86 y 87 sólo aplican para PCT	
(85) Fecha límite de inicio Fase Nacional 04.09.2012	
(86) Datos relativos a la presentación de la solicitud PCT Fecha de presentación de la solicitud 26.01.2011 No de Solicitud PCT PCT/US2011/022617	(87) Publicación internacional Fecha 11.08.2011 No Publicación WO 2011/097101 A1

Resumen reivindicación (es):

Se describe un aparato para controlar el flujo del fluido en una tubuladura ubicada en una perforación que se extiende a través de una formación subterránea. Un sistema de control del flujo se coloca en comunicación fluida con una tubuladura principal. El sistema de control del flujo tiene un sistema de control de la relación de flujo y un sistema de resistencia dependiente de la vía. El sistema de control de la relación de flujo tiene un primero y segundo pasaje, el fluido de producción que fluye en los pasajes con la relación de flujo de fluido a través de los pasajes relacionados con la característica del flujo de fluido. El sistema de resistencia dependiente de la vía incluye una cámara del vórtice con una primera y segunda entrada y una salida, la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido y la segunda entrada en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de fluido. La primera entrada se ubica para dirigir el fluido en la cámara del vórtice de modo que fluya principalmente en forma tangencial en la cámara del vórtice, y la segunda entrada se ubica para dirigir el fluido de modo que fluya principalmente en forma radial en la cámara del vórtice. Los fluidos no deseados, tales como gas natural o agua, en un pozo de petróleo se dirigen, sobre la base de su característica relativa, en el vórtice principalmente en forma tangencial, de este modo se restringe el flujo de fluido cuando el fluido no deseado está presente como un componente del fluido de producción.

	SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO									
	DIVISION DE NUEVAS CREACIONES									
	TARJETA DE ARCHIVO PROPIETARIOS									
	PATENTE DE INVENCION			PCT	X	MODELO DE UTILIDAD			DISEÑO INDUSTRIAL	
(21) No de solicitud:					(22) Fecha de solicitud:					
(51) Clasificación Internacional:										
(71)Solicitante(s) HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC										
(72) Inventor(es) DYKSTRA Jason D; FRIPP Michael Linley; DEJESUS Orlando; GANO John, C; HOLDERMAN Luke										
(74) Apoderado: LUZ HELENA ADARVE GOMEZ										
(30) Prioridad		(31) No Prioridad 12/700,685		(32) Fecha 04.02.2010		(33) País US				
(85) Fecha inicio fase nacional: 04.09.2012										
(86) Datos relativos a la presentación de la solicitud PCT Fecha de presentación de la solicitud: 26.01.2011 No de solicitud: PCT/US2011/022617										
(54) Título MÉTODO Y APARATO PARA LA SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL FONDO DEL POZO AUTÓNOMO CON SISTEMA DE RESISTENCIA DEPENDIENTE DE LA VÍA										

(21) No de solicitud: (22) Fecha de solicitud:

(71) Solicitante(s) HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC

(72) Inventor (es)

DYKSTRA Jason D; FRIPP Michael Linley; DEJESUS Orlando; GANO John, C; HOLDERMAN Luke

(74) Apoderado: LUZ HELENA ADARVE GOMEZ

(30) Prioridad

(31) No Prioridad

(32) Fecha

(33) País

12/700, 685

04.02.2010 US

(85) Fecha límite inicio fase nacional: 04.09.2012

(87) Publicación internacional:

(86) Datos relativos a la presentación de la solíc. PCT

Fecha: 11.08.2011

Fecha de presentación de la solicitud: 26.01.2011

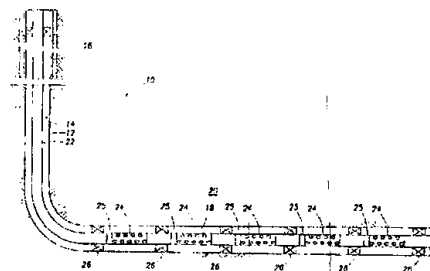
No Publicación: WO 2011/097101 A1

No de Solicitud PCT/US2011/022617

(54) Título: MÉTODO Y APARATO PARA LA SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL FONDO DEL POZO AUTÓNOMO CON SISTEMA DE RESISTENCIA DEPENDIENTE DE LA VÍA

(57) Resumen:

Se describe un aparato para controlar el flujo del fluido en una tubuladura ubicada en una perforación que se extiende a través de una formación subterránea. Un sistema de control del flujo se coloca en comunicación fluida con una tubuladura principal. El sistema de control del flujo tiene un sistema de control de la relación de flujo y un sistema de resistencia dependiente de la vía. El sistema de control de la relación de flujo tiene un primero y segundo pasaje, el fluido de producción que fluye en los pasajes con la relación de flujo de fluido a través de los pasajes relacionados con la característica del flujo de fluido. El sistema de resistencia dependiente de la vía incluye una cámara del vórtice con una primera y segunda entrada y una salida, la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido y la segunda entrada en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de fluido. La primera entrada se ubica para dirigir el fluido en la cámara del vórtice de modo que fluya principalmente en forma tangencial en la cámara del vórtice, y la segunda entrada se ubica para dirigir el fluido de modo que fluya principalmente en forma radial en la cámara del vórtice. Los fluidos no deseados, tales como gas natural o agua, en un pozo de petróleo se dirigen, sobre la base de su característica relativa, en el vórtice principalmente en forma tangencial, de este modo se restringe el flujo de fluido cuando el fluido no deseado está presente como un componente del fluido de producción



SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
NIT : 800.176.089-2
- / -

 Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA	RECIBO DE CAJA	No. 12 - 0087430
		Bogotá D.C., Agosto 24 de 2012 - 14:05:12

RECIBIDO DE : CARDENAS & CARDENAS ABOGADOS PI LTDA NI 830.083.491

*** Soporte del Pago ***					
TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR. PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	452422596	24/08/2012	19.780.000.00

*** Conceptos Pagados ***			
CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr.UNDITARIO Vr.CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE INVENCIÓN	590.000.00 590.000.00
			\$590.000.00
=====			

SON: **QUINIENTOS NOVENTA MIL PESOS MONEDA CORRIENTE***

Responsable: _____
Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

No. 12-150305- -00000-0000
Fecha: 2012-09-03 16:00:49 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 11 PATENTE IYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 217

CARDENAS & CARDENAS
ABOGADOS

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
NIT : 800.176.089-2
- / -

 Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA	RECIBO DE CAJA	No. 12 - 0082564
		Bogotá D.C., Agosto 13 de 2012 - 14:58:24

RECIBIDO DE : CARDENAS & CARDENAS ABOGADOS PI LTDA NI 830.083.491

*** Soporte del Pago ***					
TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR. PAGO
CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	452422574	13/08/2012	8.075.000.00

*** Conceptos Pagados ***			
CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	Vr. UNDITARIO Vr. CONCEPTO
190 50005-01-01	SOLICITUDES	1607 REIVINDICACION UNITARIA ADICIONAL A LAS 10 INICIALES	30.000.00 5.700.000.00
			===== \$5.700.000.00 =====

SON: **CINCO MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS MONEDA CORRIENTE**

Responsable: _____
Recibo de Caja Aplicado al Expediente No. _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

No. 12-150305- -00000-0000
Fecha: 2012-09-03 16:00:49 Dep. 2020 DIR NUEVASCR
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 411 PRESENTACION Folios: 217



00263

The State of Texas

Secretary of State

APOSTILLE

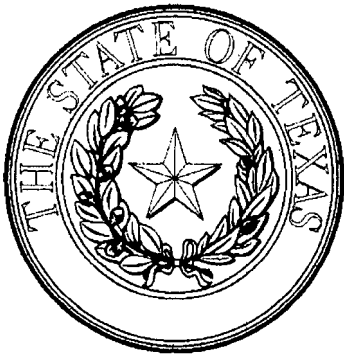
(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America
- This public document
2. has been signed by DEBORAH A HAYS
3. acting in the capacity of Notary Public, State of Texas

4. and bears the seal/stamp of DEBORAH A HAYS, Notary Public, State of Texas, Commission Expires: 11-28-03

CERTIFIED

5. at Austin, Texas
6. on July 1, 2002
7. by the Secretary of State of Texas
8. Certificate No. N-300437
9. Seal
10. Signature:



Gwyn Shea

Gwyn Shea
Secretary of State
ST/clk

PRODUCCION
MILDA A. HURTADO
INTERPRETE
CDS No. 323 DEL MIN. DE ECONOMIA

2002/143

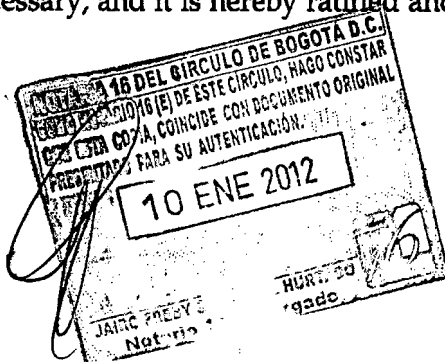
- Colombia -

POWER OF ATTORNEY

In the city of Houston on the 30th day of the month of April of the year two thousand and two (2002), before me, DEBORAH A. Hays Notary Public, appeared Charles H. White of Legal age, and domiciled at Houston, Texas USA and stated:

FIRST: That he/she acts in his/ her capacity of Vice President of Halliburton Energy Services, Inc a company legally constituted and in existence in accordance with the laws of Delaware, USA and domiciled at Houston, Texas USA as evidenced in the By-laws and Articles of Incorporation, documents which I have examined.

SECOND: That in such capacity he/she grants hereby special, ample and sufficient Power of Attorney to DARIO CÁRDENAS NAVAS and/or EDUARDO CÁRDENAS CABALLERO, and/or BERNARDO P. CÁRDENAS MARTINEZ and/or JAMES VALDIRI REYES and/or LUZ HELENA ADARVE GÓMEZ, and/or JUANITA ACOSTA GÓMEZ and/or ANA MARÍA RUIZ RUEDA, registered lawyers of the firm CÁRDENAS & CÁRDENAS PROPIEDAD INTELECTUAL LAWYERS, domiciled at Carrera 7 No. 71-52, Torre B, Piso 9, Bogotá, D.C. Colombia, to carry before the corresponding Colombian national offices and authorities the proceedings to obtain patent, industrial models and designs and trademark registrations, as well as proceedings of renewals, assignments, change of name or domicile of the owner, waivers and licenses of the same for which purpose they are empowered to take before said authorities all necessary actions for the indicated purposes; to file applications, statements, claims, formulate descriptions, amendments, oppositions and appeals; pay all taxes and installments and make any other payments determined by law; to receive every document and values issuing the respective discharge; to fulfill any other requirements and take, in general, every measure that they shall deem appropriate for the defense and protection of the trademarks of the company in the event of infringements, oppositions, proceedings for cancellation or annulment, imposition of fines, including resort to litigation; they are empowered to appear as plaintiff or defendant before the competent judges, being entitled to transact, submit to arbitration, waive, receive, resign, withdraw, appeal and all other legal powers which may be necessary, and it is hereby ratified and confirmed, any such



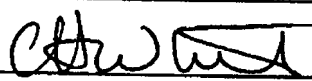
ADUCCION OFICIAL No. 2002/143
SILDA ABUILERA DE PERU
INTERPRETE OFICIAL
No. 223 DEL MIN. OF INTERIOR

act said attorney lawfully do for its benefit, as my own act granting them also power to substitute this proxy and if necessary to revoke such substitutions.

THIRD: That for purposes of articles 597 and 543 of the Colombian code of Commerce the attorneys are empowered to receive service of notice and designate judicial and extra judicial attorneys.

SIGNED AT Houston, Texas USA

ON 30 April 2002

BY 

Charles H. White
Vice President



NOTARY PUBLIC



2002/143
RADUCCION DE
BILDA AGUILEYA DE
INTERPRETE DE
DES No. 223 DEL MIN. DE JUSTICIA

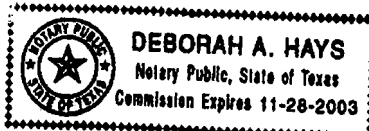
NOTARIAL CERTIFICATION

The undersigned Notary Public certifies that Mr. Charles H. White appeared before me and signed the preceding document; that I know him personally and I am certain that he has legal capacity to grant it; that he is Vice President of Halliburton Energy Services, Inc. and is consequently authorized to grant such document; that such company is organized under the laws of Delaware USA and is domiciled at Houston, Texas USA; and that the act for which this document is granted is included among those which constitute the corporate object of the named company. Furthermore, that such company performs its corporate purpose in accordance with the laws of its incorporation and domicile.

I am certain of all these facts because I have examined the respective documents consisting of Power of Attorney - Colombia all of which I hereby attest.

NOTARY PUBLIC (signature)
ISSUED AND SIGNED AT
DATED

Deborah A. Hays
Houston, Harris County, Texas
30 April 2002



(LEGALIZATION BY APOSTILLE IS REQUIRED)



ADUCCION OFICIAL No. 2002/143.
MILDA AGUILERA DE PIEDRAHITA
INTERPRETE OFICIAL
RES No. 323 DEL MIN. DE JUSTICIA

Traducción Oficial No. 2002/143 de un documento escrito en inglés el cual para su identificación se sella con el sello del traductor al tiempo con la presente. Esta traducción ha sido preparada por Hilda Aguilera de Piedrahita, traductora oficial debidamente reconocida por el Ministerio de Relaciones Exteriores y autorizada por el Ministerio de Justicia y del Derecho por Resolución No. 323 de 1980.

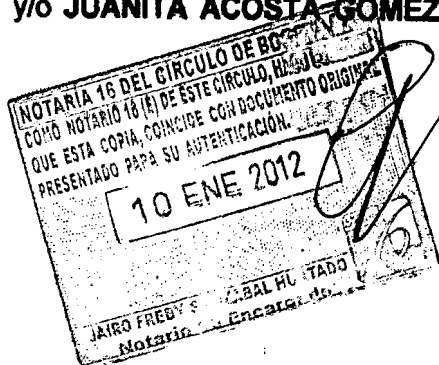
PODER

-Colombia-

En la ciudad de Houston, el día 30 del mes de Abril del año Dos Mil Dos (2002), ante mí, Deborah A. Hays, Notario Público, compareció Charles H. White, mayor de edad, y domiciliado en Houston, Texas, Estados Unidos de América, y manifestó:

PRIMERO: Que el/ella obra en su calidad de Vicepresidente de Halliburton Energy Services, Inc., una compañía legalmente constituida y existente de conformidad con las leyes del estado de Delaware, Estados Unidos de América, y con domicilio en Houston, Texas, Estados Unidos de América, según lo evidencian sus Estatutos y Artículos de Constitución, documentos que he examinado.

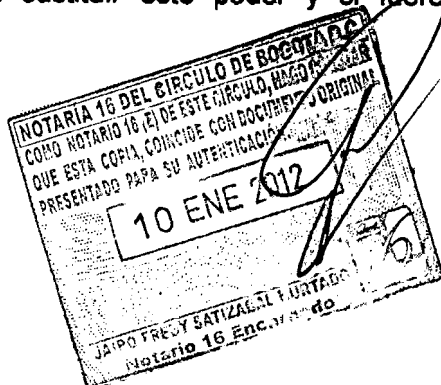
SEGUNDO: que en tal calidad el/ella otorga por el presente poder especial amplio y suficiente a **DARÍO CÁRDENAS-NAVAS y/o EDUARDO CÁRDENAS CABALLERO, y/o BERNARDO P. CÁRDENAS-MARTÍNEZ, y/o JAMES VALDIRI-REYES y/o LUZ HELENA ADARVE-GOMEZ, y/o JUANITA ACOSTA GÓMEZ y/o ANA MARÍA RUIZ**



TRADUCCIÓN OFICIAL No. 2002/143
HILDA AGUILERA DE PIEDRAHITA
INTERPRETE OFICIAL
RES. No. 323 DEL MIN. DE JUSTICIA

13

RUEDA, abogados registrados de la firma **CÁRDENAS & CÁRDENAS ABOGADOS**, domiciliada en la Carrera 7 No. 71-52, Torre B, Piso 9, Santafé de Bogotá D.C., Colombia, para llevar a cabo ante las correspondientes Oficinas Nacionales Colombianas y autoridades los trámites para obtener registros de patentes, modelos industriales, y diseños y registros de marcas, así como trámites para renovaciones, trasposos, cambios de nombre o domicilio del propietario, renunciaciones y licencias de los mismos para cuyo fin están facultados para realizar ante dichas autoridades todas las acciones necesarias para los fines indicados; para presentar solicitudes, declaraciones, reivindicaciones, formular descripciones, modificaciones, oposiciones, y apelaciones; pagar todos los impuestos y derechos y hacer cualesquiera otros pagos que la ley determine; recibir todos los documentos y valores con expedición del respectivo descargo; llenar cualesquiera otros requisitos y tomar en general todas las medidas que juzguen oportunas para la defensa y protección de las marcas de la compañía en el evento de infracciones, oposiciones, procesos de cancelación o anulación, imposición de multas, incluyendo recurrir a litigio; quedan facultados para comparecer en calidad de demandante o demandado ante los jueces competentes, tendrán derecho de transar, someterse a arbitraje, renunciar, recibir, renunciar, desistir, apelar y todas las demás facultades legales que puedan requerirse, y por el presente declara desde ahora válido y satisfactorio lo que dichos abogados hagan en nuestro beneficio, otorgándoles también poder para sustituir este poder y si fuere necesario para revocar tales sustituciones.



REDUCCION OFICIAL NO. 2002/143
NILDA AGUILERA DE PIÑERO
INTERPRETE OFICIAL
CALLE 80, 222 DEL MUN. DE JUSTICIA

TERCERO: que para fines de los artículos 597 y 543 del Código Colombiano de Comercio, los abogados están facultados para recibir notificaciones y para designar apoderados judiciales y extrajudiciales.

FIRMADO EN: Houston, Texas, Unidos de América.

EL: 30 de Abril de 2002.

POR: (Firmado) Charles H. White

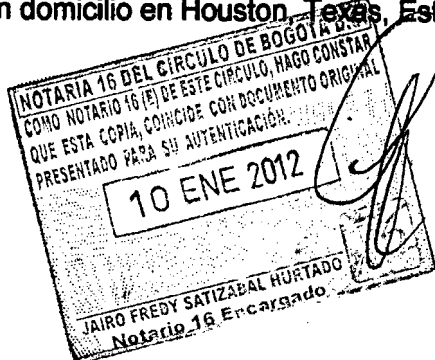
Vice Presidente

(Firmado: Sello de Revisado y Firma Ilegible.)

NOTARIO PÚBLICO

CERTIFICACIÓN NOTARIAL

El suscrito Notario Público certifica que Charles H. White compareció ante mí y suscribió el documento precedente; que lo conozco personalmente y que estoy seguro de que tiene las facultades para otorgarlo; que él es Vicepresidente de Halliburton Energy Services, Inc., y por consiguiente está autorizado para otorgar dicho documento; que la compañía mencionada existe y está constituida bajo las leyes del estado de Delaware, y con domicilio en Houston, Texas, Estados Unidos de América, y que el acto



REDUCCION OFICIAL No. 2002/143
MILDA AGUILERA DE PIEDRA
INTERPRETE (U)
Circ. No. 229 DEL MIN. DE JUSTICIA

13

para el cual se otorga este documento está incluido entre aquellos que constituyen el objeto social de la compañía mencionada.

Estoy seguro de todos estos hechos por haber examinado los documentos respectivos consistentes en el Poder-Colombia, de todo lo cual doy fe.

NOTARIO PUBLICO /(Firma): Deborah H. Hays

EXPEDIDO Y FIRMADO EN Houston, Condado de Harris, Texas

FECHA : 30 de Abril de 2002.

Sello a tinta: Deborah A. Hays, Notario Público, Estado de Texas, Mi comisión expira el 11-28-2003.

(SE REQUIERE LEGALIZACIÓN MEDIANTE APOSTILLA)

ESTADO DE TEXAS

Secretario de Estado

APOSTILLA

(Convención de la Haya de Octubre 5 de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por Deborah A. Hays
3. Actuando en calidad de Notario Público, Estado de Texas
4. Lleva el sello/estampilla de Deborah A. Hays, Notario Público Estado de Texas,
Su comisión expira el 11-28-03.



CERTIFICADO

REDUCCION OFICIAL NO. 2002/143
SILDA AGUILERA DE PIEDRANITA
INTERPRETE OFICIAL
CDS No. 023 DEL MIN. DE JUSTICIA

5. En Austin, Texas
6. Hoy 1 de Julio, 2002.
7. Por El Secretario de Estado de Texas
8. Certificado Número N-300437
9. Sello (Sello Pre-impreso)
10. Firma (Firmado)

Gwyn Shea
Secretario de Estado
ST/clk

MINISTERIO DE RELACIONES
EXTERIORES
1418
86019
CIVILIZA APARECE EN EL
DOCUMENTO DESEMPLEA
LAS FUNCIONES INDICADAS

NO SE ASUME
RESPONSABILIDAD DEL TEXTO
2002 JUL 18 P 2:47
JEFE DE LEGALIZACIONES
SANTAFE DE BOGOTA D.C.

ES TRADUCCIÓN FIEL Y COMPLETA de la cual se deja copia en los archivos de esta
oficina para su confrontación y a la cual me remito.

Bogotá, Julio 17 de 2002.

Frank Guibaud-Schmitz
TRADUCCION OFICIAL No. 2002/143
JESUS AGUILERA DE PINO
INTERPRETE OFICIAL
223 DEL MIN. DE JUSTICIA

NOTARIA 16 DEL CIRCULO DE BOGOTA D.C.
COMO NOTARIO 16 (E) DE ESTE CIRCULO, HAGO CONSTAR
QUE ESTA COPIA, COINCIDE CON DOCUMENTO ORIGINAL
PRESENTADO PARA SU AUTENTICACION
10 ENE 2012
JAIRO FRESY SATI
Notario 16

MÉTODO Y APARATO PARA LA SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL FONDO DEL POZO AUTÓNOMO CON SISTEMA DE RESISTENCIA DEPENDIENTE DE LA VÍA

Inventores: Jason D. Dykstra Michael L. Fripp Orlando DeJesus

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Ninguna

CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere en general a los métodos y aparatos para el control selectivo del flujo de fluido a partir de una formación en una formación subterránea portadora de hidrocarburos en una columna de producción en un pozo. Más particularmente, la invención se refiere a métodos y aparatos para controlar el flujo del fluido sobre la base de alguna característica del flujo de fluido por la utilización de un sistema de control de la dirección del flujo y un sistema de resistencia dependiente de la vía para proporcionar la resistencia variable al flujo de fluido. El sistema con preferencia también puede incluir un amplificador del fluido.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Durante la terminación de un pozo que atraviesa una formación subterránea portadora de hidrocarburos, se instalan tuberías producción y varios equipos en el pozo para permitir la producción segura y eficiente de los fluidos. Por ejemplo, para evitar la producción de material particulado de una formación subterránea no consolidada o ligeramente consolidada, ciertas terminaciones incluyen uno o más tamices de control de arena ubicados próximos a los intervalos de producción deseados. En otras terminaciones, para controlar el caudal de flujo de los fluidos producidos en la tubería de producción, es de práctica común instalar uno o más dispositivos de control del flujo de entrada con la columna de terminación.

La producción de cualquier sección de la tubería de producción determinada a menudo puede tener múltiples

componentes fluidos, tales como gas natural, petróleo y agua, el fluido de producción cambia en la composición proporcional a lo largo del tiempo. De este modo, a medida que la cambia la proporción de los componentes del fluido, también cambiarán las características del flujo de fluido. Por ejemplo, cuando el fluido de producción tiene una cantidad proporcionalmente mayor de gas natural, la viscosidad del fluido será menor y la densidad del fluido serán menor que cuando el fluido tiene una cantidad proporcionalmente mayor de petróleo. A menudo es conveniente reducir o impedir la producción de un constituyente a favor de otro. Por ejemplo, en un pozo productor de petróleo, se puede desear reducir o eliminar la producción de gas natural y maximizar la producción de petróleo. Si bien se han utilizado varias herramientas para el fondo del pozo para controlar el flujo de los fluidos sobre la base de su conveniencia, ha surgido la necesidad de un sistema de control del flujo para controlar el flujo de entrada de los fluidos que sea confiable en una variedad de condiciones de flujo. Además, ha surgido la necesidad de un sistema de control del flujo que funcione autónomamente, es decir, en respuesta a las condiciones cambiantes en el fondo del pozo y sin requerir señales de la superficie por parte del operador. También, ha surgido la necesidad de un sistema de control del flujo sin mover las partes mecánicas que están sujetas a ruptura en condiciones del pozo adversas que incluyen las provenientes de los efectos erosivos u obstructivos de la arena en el fluido. Se plantean problemas similares con respecto a las situaciones de inyección, con el flujo de fluidos que entran en vez de salir de la formación.

SÍNTESIS DE LA INVENCION

Se describe un aparato para controlar el flujo del fluido en una tubuladura de producción ubicada en una perforación que se extiende a través de formación subterránea portadora de hidrocarburos. Un sistema de control del flujo se coloca en comunicación fluida con una tubuladura de

producción. El sistema de control del flujo tiene un sistema de control de la dirección del flujo y un sistema de resistencia dependiente de la vía. El sistema de control de la dirección del flujo con preferencia puede comprender un sistema de control de la relación de flujo que tiene al menos un primer y segundo pasaje, el flujo de producción que fluye en los pasajes con la relación de flujo de fluido a través de los pasajes relacionada con una característica del flujo de fluido, tal como viscosidad, densidad, caudal de flujo o combinaciones de las propiedades. El sistema de resistencia dependiente de la vía con preferencia incluye una cámara del vórtice con al menos una primera entrada y una salida, la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía en comunicación fluida con al menos uno del primer o segundo pasaje del sistema de control de la relación de fluido. En una forma de realización preferida, el sistema de resistencia dependiente de la vía incluye dos entradas. La primera entrada se ubica para dirigir el fluido en la cámara del vórtice de modo que fluya principalmente en forma tangencial en la cámara del vórtice, y la segunda entrada se ubica para dirigir el fluido de modo que fluya principalmente en forma radial en la cámara del vórtice. Los fluidos deseados, tales como petróleo, se seleccionan sobre la base de sus características relativas y se dirigen principalmente en forma radial en la cámara del vórtice. Los fluidos no deseados, tales como gas natural o agua en un pozo de petróleo, se dirigen dentro de la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial, de este modo se restringe el flujo de fluido.

En una forma de realización preferida, el sistema de control del flujo también incluye un sistema amplificador del fluido interpuesto entre el sistema de control de la relación de fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía y en comunicación fluida con ambos. El sistema amplificador del fluido puede incluir un amplificador proporcional, un amplificador tipo chorro, o un amplificador tipo a presión. Con preferencia, se proporciona un tercer pasaje de fluido,

un pasaje principal en el sistema de control de la relación de flujo. El sistema amplificador del fluido luego utiliza el flujo del primer y segundo pasajes como controles para dirigir el flujo del pasaje principal.

La tubuladura del fondo del pozo puede incluir una pluralidad de sistemas de control del flujo de la invención. El pasaje interior de la tubuladura del yacimiento también puede tener un pasaje anular, con una pluralidad de sistemas de control del flujo ubicados en forma adyacente del pasaje anular de modo que el flujo que fluye a través del pasaje anular se dirige dentro de la pluralidad de sistemas de control del flujo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una comprensión más completa de las características y ventajas de la presente invención, a continuación se hace referencia a la descripción detallada de la invención junto con las figuras acompañantes en que los números correspondientes de las diferentes figuras se refieren a las partes correspondientes y en que:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de pozo que incluye una pluralidad de sistemas de control del flujo autónomos que representan los principios de la presente invención;

La Figura 2 es una vista lateral transversal de un sistema de tamiz, un sistema de control del flujo de entrada, y un sistema de control del flujo de acuerdo con la presente invención;

La Figura 3 es una vista representativa esquemática de un sistema de control del flujo autónomo de una forma de realización de la invención;

La Figura 4A y 4B son modelos de dinámica de fluidos computacional del sistema de control del flujo de la Figura 3 para gas natural y petróleo;

La Figura 5 es un esquema de una forma de realización de un sistema de control del flujo de acuerdo con la presente invención que tiene un sistema de control de la relación,

sistema de resistencia dependiente de la vía y sistema amplificador del fluido;

La Figura 6A y 6B son modelos de dinámica de fluidos computacional que muestra los efectos de la amplificación de la relación del flujo de un sistema amplificador del fluido en un sistema de control del flujo en una forma de realización de la invención;

La Figura 7 es un esquema de un sistema amplificador tipo presión del fluido para usar en la presente invención;

La Figura 8 es una vista en perspectiva de un sistema de control del flujo de acuerdo con la presente invención ubicado en una pared de la tubuladura; y

La Figura 9 es una vista del extremo en corte transversal de una pluralidad de sistemas de control del flujo de la presente invención ubicados en una pared de la tubuladura. La Figura 10 es un esquema de una forma de realización de un sistema de control del flujo de acuerdo con la presente invención que tiene un sistema de control de la relación de flujo, un sistema amplificador tipo presión del fluido, un sistema amplificador interruptor biestable y un sistema de resistencia dependiente de la vía;

Las Figuras 11A-B son modelos de dinámica de fluidos computacional que muestran los efectos de la amplificación de la relación del flujo de la forma de realización de un sistema de control del flujo que se ilustra en la Figura 10;

La Figura 12 es un esquema de un sistema de control del flujo de acuerdo con una forma de realización de la invención que utiliza un sistema de control de la relación de fluido, un sistema amplificador del fluido que tiene un amplificador proporcional en serie con un amplificador tipo biestable, y un sistema de resistencia dependiente de la vía;

Las Figuras 13A y 13 B son modelos de dinámica de fluidos computacional que muestran los patrones de flujo del fluido en la forma de realización del sistema de control del flujo como se observa en la Figura 12;

La Figura 14 es una vista en perspectiva de un sistema de control del flujo de acuerdo con la presente invención

ubicado en una pared de la tubuladura;

La Figura 15 es un esquema de un sistema de control del flujo de acuerdo con una forma de realización de la invención diseñado para seleccionar un fluido de viscosidad menor respecto de un fluido de viscosidad mayor

La Figura 16 es un esquema que muestra el uso de los sistemas de control del flujo de la invención en una inyección y un pozo de producción;

Las Figuras 17 A-C son vistas esquemáticas de una forma de realización de un sistema de resistencia dependiente de la vía de la invención, indicando la variación del caudal de flujo con el tiempo;

La Figura 18 es un cuadro de presión versus caudal de flujo e indica el efecto de histéresis esperado de la variación del caudal de flujo con el tiempo en el sistema de la Figura 17,

La Figura 19 es un dibujo esquemático que muestra un sistema de control del flujo de acuerdo con una forma de realización de la invención que tiene un sistema de control de la relación, sistema amplificador y sistema de resistencia dependiente de la vía, ejemplo para usar en el reemplazo del dispositivo de control del flujo de entrada;

La Figura 20 es un cuadro de presión, P , versus caudal de flujo, Q , que muestra el comportamiento de los pasajes de flujo en la Figura 19;

La Figura 21 es un esquema que muestra una forma de realización de un sistema de control del flujo de acuerdo con la invención que tiene múltiples válvulas en serie, con un pasaje de flujo auxiliar y un sistema secundario de resistencia dependiente de la vía;

La Figura 22 muestra un esquema de un sistema de control del flujo de acuerdo con la invención para usar en las operaciones de cementación inversa en una tubuladura que se extiende en una perforación;

La Figura 23 muestra un esquema de un sistema de control del flujo de acuerdo con la invención; y

La Figura 24A-D muestra vistas representativas esquemáticas de cuatro formas de realización alternativas de un sistema de

resistencia dependiente de la vía de la invención.

Los expertos en la técnica deben entender que el uso de términos direccionales tales como encima, debajo, superior, inferior, hacia arriba, hacia abajo y similares se usan en relación con las formas de realización ilustrativas que se representan en las Figuras, la dirección hacia arriba es hacia la parte superior de la correspondiente Figura y la dirección hacia abajo es hacia la parte inferior de la correspondiente Figura. Cuando esto no es sencillo y se usa un término para indicar una orientación requerida, la memoria descriptiva expondrá o hará esto claro. Corriente arriba y corriente abajo se usan para indicar localización o dirección en relación con la superficie, donde corriente arriba indica posición relativa o movimiento hacia la superficie a lo largo del pozo y corriente abajo indica posición relativa o movimiento más lejos de la superficie a lo largo del pozo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

Si bien la obtención y el uso de las diversas formas de realización de la presente invención se describen con detalle a continuación, un profesional de la técnica apreciará que la presente invención proporciona conceptos inventivos aplicables que se pueden realizar en una variedad de contextos específicos. Las formas de realización específicas descritas en la presente son ilustrativas de las maneras específicas de obtener y usar la invención y no limitan el alcance de la presente invención.

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de pozo, indicado en forma general 10, que incluye una pluralidad de sistemas de control del flujo autónomos que representan los principios de la presente invención. Una perforación 12 se extiende a través de varios estratos de la tierra. La perforación 12 tiene una sección sustancialmente vertical 14, en cuya porción superior se ha instalado una columna de entubación 16. La perforación 12 también tiene una porción sustancialmente desviada 18, que se muestra como horizontal, que se extiende a través de una formación

subterránea portadora de hidrocarburos 20. Como se ilustra, la sección sustancialmente horizontal 18 de la perforación 12 es el pozo abierto. Si bien se muestra en la presente en un pozo abierto, la sección horizontal de una perforación, la invención operará en cualquier orientación, y en pozo abierto o entubado. La invención también operará de igual modo con sistemas de inyección, que se discutirá supra.

La columna de tubería 22 se ubica dentro de la perforación 12 y se extiende desde la superficie. La columna de tubería 22 proporciona un conducto para que los fluidos se desplacen desde la formación 20 corriente arriba a la superficie. Se ubican dentro la columna de tubería 22 en los diversos intervalos de producción adyacentes a la formación 20 una pluralidad de sistemas de control del flujo autónomos 25 y una pluralidad de secciones de la tubería de producción 24. En cada extremo de cada sección de la tubería de producción 24 es un obturador 26 que proporciona un sellador de fluido entre la columna de tubería 22 y la pared de la perforación 12. En el espacio intermedio cada par de obturadores adyacentes 26 define un intervalo de producción.

En la forma de realización ilustrada, cada una de las secciones de la tubería de producción 24 incluye la capacidad de controlar la arena. Los elementos de tamiz o medios de filtro para controlar la arena asociados con las secciones de la tubería de producción 24 se diseñan para permitir que los fluidos fluyan a través de estos pero impiden que la materia particulada de suficiente tamaño fluya a través de estos. Si bien la invención no necesita tener un tamiz para controlar la arena asociado con esta, si se usa, entonces el diseño exacto del elemento de tamiz asociado con los sistemas de control del flujo de fluido no es crítico para la presente invención. Existen muchos diseños para los tamices para controlar la arena que son bien conocidos en la industria y no se describirán en detalle en la presente. Asimismo, una cubierta exterior protectora que tiene una pluralidad de perforaciones a través de la misma se puede ubicar alrededor del exterior de cualquier medio de filtro.

Mediante el uso de los sistemas de control del flujo 25 de la presente invención en uno o más intervalos de producción, se permite algún control sobre el volumen y la composición de los fluidos producidos. Por ejemplo, en una operación de producción de petróleo, si un componente fluido no deseado, tal como agua, vapor, dióxido de carbono, o gas natural, está entrando en uno de los intervalos de producción, el sistema de control del flujo en este intervalo restringirá o resistirá autónomamente la producción de fluido de este intervalo.

El término "gas natural" como se usa en la presente significa una mezcla de hidrocarburos y cantidades variadas de no hidrocarburos) que existen en fase gaseosa a temperatura y presión ambiente. El término no indica que el gas natural está en una fase gaseosa en la ubicación del fondo del pozo de los sistemas de la invención. En efecto, se entiende que el sistema de control del flujo es para usar en las localizaciones donde la presión y temperatura son tales que el gas natural estará en un estado mas licuado, aunque otros componentes pueden estar presentes y algunos componentes pueden estar en un estado gaseoso. El concepto de la invención operará con líquidos o gases o cuando ambos estén presentes.

El flujo que fluye en la sección de la tubería de producción 24 normalmente comprende más de un componente fluido. Los componentes típicos son gas natural, petróleo, agua, vapor o dióxido de carbono. Vapor y dióxido de carbono se usan comúnmente como fluidos de inyección para conducir el hidrocarburo hacia la tubuladura de producción, mientras que el gas natural, petróleo y agua se hallan normalmente in situ en la formación. La proporción de estos componentes en el flujo que fluye dentro de cada sección de la tubería de producción 24 variará a lo largo del tiempo y se basará en las condiciones dentro de la formación y la perforación. Asimismo, la composición del flujo que fluye dentro de las diversas secciones de la tubería de producción a lo largo de la extensión de la columna de producción entera puede variar

de modo significativo de sección en sección. El sistema de control del flujo se diseña para reducir o restringir la producción de cualquier intervalo particular cuando este tiene una mayor proporción de un componente no deseado.

Por consiguiente, cuando un intervalo de producción correspondiente a uno particular de los sistemas de control del flujo produce una proporción mayor de un componente fluido no deseado, el sistema de control del flujo en este intervalo restringirá o resistirá el flujo de producción de este intervalo. En consecuencia, los otros intervalos de producción que están produciendo una mayor proporción de componente fluido deseado, en este caso petróleo, contribuirá más a la corriente de producción que entra en la columna de tubería 22. En particular, el caudal de flujo de la formación 20 a la columna de tubería 22 será menor cuando el fluido debe fluir a través de un sistema de control del flujo (en vez de fluir simplemente en la columna de tubería). Dicho de otro modo, el sistema de control del flujo crea una restricción de flujo en el fluido.

Si bien la Figura 1 ilustra un sistema de control del flujo en cada intervalo de producción, se debe entender que numerosos sistemas de la presente invención se pueden implementar dentro de un intervalo de producción sin apartarse de los principios de la presente invención. Asimismo, los sistemas de control del flujo de la invención no deben asociarse con cada intervalo de producción. Ellos pueden estar presentes solo en algunos de los intervalos de producción de la perforación o pueden estar en el pasaje de la tubería para dirigir los múltiples intervalos de producción.

La Figura 2 es una vista lateral transversal de un sistema de tamiz 28, y una forma de realización de un sistema de control del flujo 25 de la invención que tiene un sistema de control de la dirección del flujo, que incluye un sistema de control de la relación de flujo 40, y un sistema de resistencia dependiente de la vía 50. La sección de la tubería de producción 24 tiene un sistema de tamiz 28, un dispositivo de

control del flujo de entrada opcional (no mostrado) y un sistema de control del flujo 25. La tubuladura de producción define un pasaje interior 32. El fluido fluye desde la formación 20 a la sección de la tubería de producción 24 a través del sistema de tamiz 28. Las especificaciones del sistema de tamiz no se explican en detalle en la presente. El fluido, después de ser filtrado por el sistema de tamiz 28, si está presente, fluye dentro del pasaje interior 32 de la sección de la tubería de producción 24. Como se usa en la presente, el pasaje interior 32 de la sección de la tubería de producción 24 puede ser un espacio anular, como se muestra, un espacio cilíndrico central, u otra disposición. En la práctica, las herramientas del fondo del pozo tendrán pasajes de varias estructuras, que a menudo tienen flujo de fluido a través los pasajes anulares, orificios centrales, trayectos enrollados o sinuosos, y otras disposiciones para varios fines. El fluido se puede dirigir a través de un pasaje sinuoso u otros pasajes de fluido para proporcionar mayor filtración, control del fluido, caídas de presión, etc. El fluido luego fluye en el dispositivo de control del flujo de entrada, si está presente. Varios dispositivos de control del flujo de entrada son bien conocidos en la técnica y no se describen en la presente en detalle. Un ejemplo de tal dispositivo de control del flujo está disponible en Halliburton Energy Services, Inc. bajo la marca registrada EquiFlow®. El fluido luego fluye dentro de la entrada 42 del sistema de control del flujo 25. Si bien en la presente se sugiere que el dispositivo de control del flujo de entrada adicional se ubica corriente arriba del dispositivo de la invención, también se puede ubicar corriente abajo del dispositivo de la invención o en paralelo con el dispositivo de la invención.

La Figura 3 es una vista representativa esquemática de un sistema de control del flujo autónomo 25 de una forma de realización de la invención. El sistema 25 tiene un sistema de control de dirección del fluido 40 y un sistema de resistencia dependiente de la vía 50.

El sistema de control de dirección del fluido se diseña para controlar la dirección del fluido que se dirige a una o más entradas de los subsiguientes subsistemas, tales como amplificadores o sistemas de resistencia dependiente de la vía. El sistema de relación del fluido es una forma de realización preferida del sistema de control de dirección del fluido, y se diseña para dividir el flujo del fluido en múltiples corrientes de variada relación volumétrica aprovechando las propiedades características del flujo de fluido. Tales propiedades pueden incluir, pero sin limitación, viscosidad del fluido, densidad del fluido, caudales de flujo o combinaciones de las propiedades. Cuando se usa el término "viscosidad", se entiende cualquiera de las propiedades reológicas que incluyen viscosidad cinemática, límite elástico, viscoplasticidad, tensión superficial, humectabilidad, etc. Debido a que las cantidades proporcionales de los componentes del fluido, por ejemplo, petróleo y gas natural, en el fluido producido cambian con el tiempo, la característica del flujo del fluido también cambia. Cuando el fluido contiene una proporción relativamente alta de gas natural, por ejemplo, la densidad y viscosidad del fluido será menos que para el petróleo. El comportamiento de los fluidos en los pasajes del flujo es dependiente de las características del flujo de fluido. Además, ciertas configuraciones del pasaje restringirán el flujo o proporcionarán mayor resistencia al flujo, de acuerdo con las características del flujo de fluido. El sistema de control de la relación de fluido aprovecha los cambios en las características del flujo de fluido durante la vida del pozo. El sistema de relación del fluido 40 recibe el fluido 21 desde el pasaje interior 32 de la sección de la tubería de producción 24 o desde el dispositivo de control del flujo de entrada a través de la entrada 42. El sistema de control de la relación 40 tiene un primer pasaje 44 y segundo pasaje 46. A medida que el fluido fluye en la entrada del sistema de control de la relación de fluido 42, se divide en dos corrientes de flujo, una en el primer pasaje 44 y una en el

segundo pasaje 46. Los dos pasajes 44 y 46 se seleccionan por ser de diferente configuración para proporcionar diferente resistencia al flujo de fluido sobre la base de las características del flujo de fluido.

El primer pasaje 44 se diseña para proporcionar mayor resistencia a los fluidos deseados. En una forma de realización preferida, el primer pasaje 44 es un tubo largo, relativamente estrecho que proporciona mayor resistencia a fluidos tales como petróleo y menos resistencia a fluidos tales como gas natural o agua. Alternativamente, se pueden emplear otros diseños para los tubos de resistencia dependientes de la viscosidad, tales como un trayecto sinuoso o un pasaje con una superficie de la pared interior texturada. Obviamente, la resistencia provista por el primer pasaje 44 varía infinitamente con los cambios en la característica del fluido. Por ejemplo, el primer pasaje ofrecerá mayor resistencia al fluido cuando la relación petróleo a gas natural en el fluido 21 es 80:20 que cuando la relación es 60:40. Además, el primer pasaje ofrecerá relativamente poca resistencia a algunos fluidos tales como gas natural o agua.

El segundo pasaje 46 se diseña para ofrecer resistencia relativamente constante a un fluido, independientemente de las características del flujo de fluido, o para proporcionar mayor resistencia a los fluidos no deseados. Un segundo pasaje 46 preferido incluye al menos un reductor de flujo 48. El reductor de flujo 48 puede ser un venturi, un orificio, o una boquilla. Se prefieren múltiples reductores de flujo 48. El número y tipo de reductores y el grado de restricción se pueden seleccionar para proporcionar una resistencia selectiva al flujo de fluido. El primer y segundo pasajes pueden proporcionar aumento de resistencia al flujo de fluido a medida que el fluido se hace más viscoso, pero la resistencia al flujo en el primer pasaje será mayor que el aumento de la resistencia al flujo en el segundo pasaje.

En consecuencia, el sistema de control de la relación de flujo 40 se puede emplear para dividir el fluido 21 en

corrientes de una relación de flujo preseleccionada. Cuando el fluido tiene múltiples componentes de fluido, la relación de flujo normalmente se hallará entre las relaciones para los dos componentes únicos. Por otra parte, como la formación de fluido cambia en la constitución de componentes a lo largo del tiempo, la relación de flujo también cambiará. El cambio en la relación de flujo se usa para alterar el patrón de flujo de fluido en el sistema de resistencia dependiente de la vía.

El sistema de control del flujo 25 incluye un sistema de resistencia dependiente de la vía 50. En la forma de realización preferida, el sistema de resistencia dependiente de la vía tiene una primera entrada 54 en comunicación fluida con el primer pasaje 44, una segunda entrada 56 en comunicación fluida con el segundo pasaje 46, una cámara del vórtice 52 y una salida 58. La primera entrada 54 dirige el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial. La segunda entrada 56 dirige el fluido en la cámara del vórtice 56 principalmente en forma radial. Los fluidos que entran en la cámara del vórtice 52 principalmente en forma tangencial moverán en espiral alrededor de la cámara del vórtice antes de fluir finalmente a través de la salida del vórtice 58. El espiral de fluido alrededor de la cámara del vórtice sufrirá de pérdidas friccionales. Por otra parte, la velocidad tangencial produce una fuerza centrífuga que impide el flujo radial. El fluido de la segunda entrada entra en la cámara principalmente en forma radial y principalmente fluye hacia debajo de la pared de la cámara del vórtice y a través de la salida sin formar espiral. En consecuencia, el sistema de resistencia dependiente de la vía proporciona mayor resistencia a los fluidos que entran en la cámara principalmente en forma tangencial que los que entran principalmente en forma radial. Esta resistencia se realiza como contrapresión sobre el fluido corriente arriba, y en consecuencia, se produce una reducción del caudal de flujo. Se puede aplicar la contrapresión al fluido en forma selectiva por el aumento de la proporción de fluido que entra

en el vórtice principalmente en forma tangencial, y por lo tanto se reduce el caudal de flujo, como ocurre en el concepto de la invención.

La diferente resistencia al flujo entre el primer y segundo pasajes en el sistema de relación del fluido genera una división de flujo volumétrico entre los dos pasajes. Se puede calcular una relación a partir de los dos caudales de flujo volumétricos. Además, el diseño de los pasajes se puede seleccionar para producir relaciones de flujo volumétricas particulares. El sistema de relación del fluido proporciona un mecanismo para dirigir el fluido que es relativamente menos viscoso en el vórtice principalmente en forma tangencial, de este modo se produce mayor resistencia y un menor caudal de flujo al fluido relativamente menos viscoso que se puede producir de otro modo.

Las Figuras 4A y 4B son dos modelos de dinámica de fluidos computacional del sistema de control del flujo de La Figura 3 para los patrones de flujo del gas natural y petróleo. El modelo 4A muestra gas natural con una relación de flujo volumétrica de aproximadamente 2:1 (caudal de flujo a través de la entrada tangencial al vórtice 54 versus entrada radial al vórtice 56) y el modelo 4B muestra el petróleo con una relación de fluido de aproximadamente 1:2. Estos modelos muestran que la estimación del tamaño y selección apropiada de los pasajes en el sistema de control de la relación de fluido, se puede obtener que el fluido compuesto de más gas natural cambie más de su flujo total para tomar la vía de mayor pérdida de energía de entrar al sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente en forma tangencial. En consecuencia, el sistema de relación del fluido se puede utilizar en conjunto con el sistema de resistencia dependiente de la vía para reducir la cantidad de gas natural producida de cualquier sección particular de la tubería de producción.

Cabe mencionar en la Figura 4 que los remolinos 60 o "puntos muertos" se pueden crear en los patrones de flujo sobre las paredes de la cámara del vórtice 52. La arena i el material

particulado pueden decantar fuera del fluido y formarse en estos lugares del remolino 60. En consecuencia, en una forma de realización, el sistema de resistencia dependiente de la vía además incluye una o más salidas secundarias 62 para permitir que la arena salga de la cámara del vórtice 52. Las salidas secundarias 62 con preferencia están en comunicación fluida con la columna de producción 22 corriente arriba de la cámara del vórtice 52.

Los ángulos en que la primera y segunda entradas dirigen el fluido en la cámara del vórtice se pueden alterar para proporcionar casos cuando el flujo que entra en el sistema de resistencia dependiente de la vía está estrechamente equilibrado. Los ángulos de la primera y segunda entradas se eligen de modo que la combinación del vector resultante del primer flujo de entrada y el segundo flujo de entrada se dirija a la salida 58 de la cámara del vórtice 52. Alternativamente, los ángulos de la primera y segunda entrada se pueden elegir de modo que la combinación del vector resultante del primer y segundo flujo de entrada maximizará la espiral del flujo de fluido en la cámara. Alternativamente, los ángulos del primer y segundo flujo de entrada se pueden elegir para minimizar los remolinos 60 en la cámara del vórtice. El profesional reconocerá que los ángulos de las entradas en su conexión con la cámara del vórtice se pueden alterar para proporcionar un patrón de flujo deseado en la cámara del vórtice.

Además, la cámara del vórtice puede incluir aspas de flujo u otros dispositivos direccionales, tales como ranuras, rebordes, "ondas" u otra forma de la superficie, para dirigir el flujo de fluido dentro de la cámara o para proporcionar resistencia al flujo adicional a determinadas direcciones de rotación. La cámara del vórtice puede ser cilíndrica, como se muestra, o rectangular recto, oval, esférica, esferoide u otra forma.

La Figura 5 es un esquema de una forma de realización de un sistema de control del flujo 125 que tiene un sistema de relación del fluido 140, sistema de resistencia dependiente

de la vía 150 y sistema amplificador del fluido 170. En una forma de realización preferida, el sistema de control del flujo 125 tiene un sistema amplificador del fluido 170 para amplificar la relación de separación producida en el primer y segundo pasajes 144, 146 del sistema de control de la relación 140 de modo de obtener una mayor relación en el flujo volumétrico en la primera entrada 154 y segunda entrada 156 del sistema de resistencia dependiente de la vía 150. En una forma de realización preferida, el sistema de relación del fluido 140 también incluye un pasaje de flujo principal 147. En esta forma de realización, el flujo de fluido se divide entre trayectorias de flujo a lo largo de los pasajes de flujo 144, 146 y 147 con el flujo primario en el pasaje principal 147. Se entiende que la división de los flujos entre los pasajes se puede seleccionar con los parámetros del diseño de los pasajes. El pasaje principal 147 no es necesario para usar un sistema amplificador del fluido, pero se prefiere. Como ejemplo de la relación de flujos de entrada entre las tres entradas, la relación de flujo para un fluido compuesto principalmente de gas natural puede ser 3:2:5 para el primer:segundo:principal pasaje. La relación para el fluido principalmente compuesto de petróleo puede ser 2:3:5. El sistema amplificador del fluido 170 tiene una primera entrada 174 en comunicación fluida con el primer pasaje 144, una segunda entrada 176 en comunicación fluida con el segundo pasaje 146 y una entrada principal 177 en comunicación fluida con el pasaje principal 147. Las entradas 174, 176 y 177 del sistema amplificador del fluido 170 se unen entre sí en la cámara del amplificador 180. El flujo de fluido en la cámara 180 luego se divide en la salida del amplificador 184 que está en comunicación fluida con el entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía 154, y la salida del amplificador 186 que está en comunicación fluida con la entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía 156. El sistema amplificador 170 es amplificador fluídico que usa flujos de entrada de valor relativamente bajo para controlar los flujos de salida más altos. El fluido que entra en el

sistema amplificador 170 es una corriente forzada a fluir en las relaciones seleccionadas en los trayectos de salida por el diseño cuidadoso de las formas internas del sistema amplificador 170. Los pasajes de entrada 144 y 146 del sistema de relación del fluido actúan como controles, suministrando chorros de fluido que dirigen el flujo del pasaje principal 147 en una salida seleccionada del amplificador 184 o 186. El flujo de chorro control puede ser de mucho menor potencia que el flujo de la corriente del pasaje principal, aunque este no es necesario. Las entradas de control del amplificador 174 y 176 se ubican para afectar la resultante corriente del flujo, de este modo se controla el producto a través de las salidas 184 y 186.

La forma interna de las entradas del amplificador se puede seleccionar para proporcionar una efectividad deseada en la determinación del patrón de flujo a través de las salidas. Por ejemplo, las entradas del amplificador 174 y 176 se ilustran conectados en los ángulos rectos a la entrada principal 177. Los ángulos de conexión se pueden seleccionar según se desee para controlar la corriente de fluido. Además, se muestra que las entradas del amplificador 174, 176 y 177 tienen las restricciones de boquilla 187, 188 y 189, respectivamente. Estas restricciones proporcionan un mayor efecto de chorro a medida que el flujo a través de las entradas se combina en la cámara 180. La cámara 180 también puede tener varios diseños, que incluyen la selección de los tamaños de las entradas, cuyos ángulos en las entradas y salidas se unen a la cámara, la forma de la cámara, tal como minimizar los remolinos y separación del flujo, y el tamaño y los ángulos de las salidas. Los personas expertas en la técnica reconocerán que la Figura 5 no es sino un ejemplo de la forma de realización de un sistema amplificador del fluido y se pueden emplear otras disposiciones. Además, se puede seleccionar el número y tipo del amplificador del fluido.

Las Figuras 6A y 6B son dos modelos de dinámica de fluidos computacional que muestran los efectos de la amplificación de la relación del flujo de un sistema amplificador del fluido

270 en un sistema de control del flujo en una forma de realización de la invención. El modelo 6A muestra las trayectorias de flujo cuando el único componente del fluido es gas natural. La relación de flujo volumétrica entre el primer pasaje 244 y segundo pasaje 246 es 30:20, con cincuenta por ciento del flujo total del flujo total en el pasaje principal 247. El sistema amplificador del fluido 270 actúa para amplificar esta relación a 98:2 entre la primera salida 284 y segunda salida 286 del amplificador. De modo similar, el modelo 6B muestra una amplificación de la relación de flujo de 20:30 (con cincuenta por ciento del flujo total del flujo total en el pasaje principal) a 19:81 donde el único componente del fluido es petróleo.

El sistema amplificador del fluido 170 ilustrado en la Figura 5 es un amplificador tipo chorro; es decir, el amplificador usar el efecto chorro de las corrientes de ingreso desde las entradas para alterar y dirigir la trayectoria del flujo a través de las salidas. Otros tipos de sistemas amplificadores, tales como un amplificador de fluido tipo presión, se muestran en la Figura 7. El sistema de amplificador tipo a presión 370 de la Figura 7 es un amplificador fluídico que usa presiones de entrada de valor relativamente bajo para controlar las presiones de producto más altos; es decir, la presión del fluido actúa como el mecanismo de control para dirigir la corriente del fluido. La primera entrada 374 y segunda entrada 376 del amplificador tienen una restricción con boquilla ventura 390 y 391, respectivamente, que actúa para aumentar la velocidad del fluido y de este modo se reduce la presión de fluido en el pasaje de entrada. Los puertos de comunicación de la presión del fluido 392 y 393 transmiten la diferencia de presión entre la primera y segunda entradas 374 y 376 a la entrada principal 377. El flujo de fluido en la entrada principal 377 se desviará hacia el lado de la presión baja y lejos del lado de la presión alta. Por ejemplo, cuando el fluido tiene una proporción relativamente más grande del componente de gas natural, la relación de flujo volumétrica del fluido se

inclinara hacia el primer pasaje del sistema de relación del fluido y primera entrada 374 del sistema amplificador 370. El mayor caudal de flujo en la primera entrada 374 producirá una presión más baja transmitida a través del puerto de presión 390, mientras que el menor caudal de flujo en la segunda entrada 376 producirá una presión más alta comunicada a través del puerto 393. La presión más alta "empujará" o la presión más baja "succionará" el principal flujo de fluido a través de la entrada principal 377 produciendo una mayor proporción de flujo a través de la salida del amplificador 354. Cabe mencionar que las salidas 354 y 356 en esta forma de realización están en posiciones diferentes que las salidas en el sistema amplificador tipo chorro de la Figura 5.

La Figura 8 es una vista en perspectiva (se muestra con líneas "ocultas") de un sistema de control del flujo de una forma de realización preferida en una tubuladura de producción. El sistema de control del flujo 425, en una forma de realización preferida, se muele, moldea, o forma de otro modo "dentro" de la pared de una tubuladura. Los pasajes 444, 446, 447, entradas 474, 476, 477, 454, 456, las cámaras tales como cámara del vórtice 452, y salidas 484, 486 del sistema de control de la relación 440, sistema amplificador del fluido 470 y sistema de resistencia dependiente de la vía 450 están, al menos en parte, definidas por la forma de la superficie exterior 429 de la pared de la tubuladura 427. Luego se coloca un manguito sobre la superficie exterior 429 de la pared 427 y las porciones de la superficie interior del manguito 433 definen, al menos en parte, los diversos pasajes y las cámaras del sistema 425. Alternativamente, la molienda puede estar sobre la superficie interior del manguito con el manguito ubicado para cubrir la superficie exterior de la pared de la tubuladura. En práctica, se puede preferir que la pared de la tubuladura y el manguito definan solo elementos seleccionados del sistema de control del flujo. Por ejemplo, el sistema de resistencia dependiente de la vía y el sistema amplificador se pueden definir con la pared de la tubuladura mientras que los pasajes del sistema de control de la

relación no. En una forma de realización preferida, el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido, a causa de su extensión relativa, se enrolla o enrosca alrededor de la tubuladura. El pasaje enrollado se puede ubicar dentro, sobre el exterior o interior de la pared de la tubuladura. Debido a que normalmente no se requiere que la extensión del segundo pasaje del sistema de control de la relación sea de la misma longitud que el primer pasaje, el segundo pasaje puede no requerir el enrollado, enroscado, etc.

Se pueden usar múltiples sistemas de control del flujo 525 en una tubuladura única. Por ejemplo, La Figura 9 muestra múltiples sistemas de control del flujo 525 dispuestas en la pared de la tubuladura 531 de una tubuladura individual. Cada sistema de control del flujo 525 recibe la entrada de flujo desde un pasaje interior 532 de la sección de la tubería de producción. La sección de la tubuladura de producción puede tener uno o múltiples pasajes interiores para suministrar el fluido a los sistemas de control del flujo. En una forma de realización, la tubuladura de producción tiene un espacio anular para el flujo de fluido, que puede ser un pasaje anular único o dividirse en múltiples pasajes espaciados alrededor del anillo. Alternativamente, la tubuladura puede tener un pasaje interior central individual del cual fluye el fluido en uno o más sistemas de control del flujo. Otras disposiciones serán evidentes para los expertos en la técnica.

La Figura 10 es un esquema de un sistema de control del flujo que tiene un sistema de relación del fluido 640, un sistema amplificador del fluido 670 que utiliza un amplificador tipo a presión con un interruptor biestable, y un sistema de resistencia dependiente de la vía 650. El sistema de control del flujo que se observa en la Figura 10 está diseñado para seleccionar el flujo de petróleo respecto del flujo de gas. Es decir, el sistema crea una mayor contrapresión cuando el fluido de la formación es menos viscoso, tal como cuando está compuesto de una cantidad de gas relativamente mayor, por la

dirección de la mayor parte de fluido de la formación en el vórtice principalmente en forma tangencial. Cuando el fluido de la formación es más viscosa, tal como cuando comprende una cantidad relativamente más grande de petróleo, luego la mayor parte del fluido se dirige dentro del vórtice principalmente en forma radial y se genera poca contrapresión. El sistema de resistencia dependiente de la vía 650 está corriente debajo del amplificador 670 que, a su vez, está corriente abajo del sistema de control de la relación de fluido 640. Como se usa con respecto a las varias formas de realización del dispositivo selector del fluido en la presente, "corriente abajo" significará en la dirección del flujo de fluido mientras está en uso o más delante de la dirección de tal flujo. De modo similar, "corriente arriba" significará la dirección opuesta. Cabe mencionar que estos términos se pueden usar para describir la posición relativa en una perforación, lo que significa más lejos o más cerca de la superficie; tal uso debe ser obvio a partir del contexto.

El sistema de relación del fluido 640 se muestra nuevamente con un primer pasaje 644 y un segundo pasaje 646. El primer pasaje 644 es un pasaje dependiente de la viscosidad y proporcionará mayor resistencia a un fluido de mayor viscosidad. El primer pasaje puede ser un pasaje tubular angosto, relativamente largo que se muestra, como un pasaje sinuoso u otro diseño que proporciona la resistencia requerida a los fluidos viscosos. Por ejemplo, se puede usar una vía laminar como una vía de flujo de fluido dependiente de la viscosidad. Una vía laminar fuerza el flujo de fluido a través de un área superficial relativamente grande en una capa relativamente fina, lo que causa una disminución de la velocidad para obtener el flujo de fluido laminar. Alternativamente, una serie de vías de diferente tamaño puede actuar como una vía dependiente de la viscosidad. Además, un material hinchable se puede usar para definir una vía, donde el material se hincha en presencia de un fluido específico, de este modo se reduce la vía de fluido. Además, se puede usar un material con diferente energía de superficie, tal

como un material hidrofóbico, hidrofílico, húmedo en agua, o húmedo en petróleo para definir una vía, donde la humectabilidad del material restringe el flujo.

El segundo pasaje 646 es menos dependiente de la viscosidad, es decir, los fluidos se comportan de modo relativamente similar fluyendo a través del segundo pasaje independientemente de sus viscosidades relativas. El segundo pasaje 646 mostrado tiene un diodo del vórtice 649 a través del cual fluye el fluido. El diodo del vórtice 649 se puede usar como una alternativa para el pasaje de la boquilla 646 que se explica en la presente, tal como por ejemplo, con respecto a la Figura 3. Además, se puede usar un material hinchable o un material con humectabilidad especial para definir una vía.

El fluido fluye del sistema de control de la relación 640 en el sistema amplificador del fluido 670. El primer pasaje 644 del sistema de relación del fluido está en comunicación fluida con la primera entrada 674 del sistema amplificador. El fluido en el segundo pasaje 646 del sistema de relación del fluido fluye en la segunda entrada 676 del sistema amplificador. El flujo de fluido en la primera y segunda entradas se combina o une en un trayecto de flujo único en el pasaje principal 680. El sistema amplificador 670 incluye un amplificador de fluido tipo presión 671 similar a la forma de realización descrita anteriormente con respecto a la Figura 7. Los diferentes caudales de flujo de los fluidos en la primera y segunda entrada crean diferentes presiones. Las caídas de presión se crean en la primera y segunda entradas en las uniones con los puertos de comunicación de la presión. Por ejemplo, y como se explicó anteriormente, se pueden utilizar boquillas venturi 690 y 691, en o cerca de las uniones. Los puertos de comunicación de la presión 692 y 693 comunican la presión del fluido desde las entradas 674 y 676, respectivamente, al chorro del fluido en el pasaje principal 680. El puerto de comunicación de la presión baja, es decir, el puerto conectado a la entrada con el mayor causal de flujo, creará una "succión" de presión baja que dirigirá el

fluido a medida que se inyecta a través del pasaje principal 680 después de los extremos corriente debajo de los puertos de comunicación de la presión.

En la forma de realización observada en la Figura 10, el flujo de fluido a través de las entradas 674 y 676 se fusiona en un trayecto de flujo único antes de actuar sobre los puertos de comunicación de la presión. La disposición alternativa de la Figura 7 muestra los puertos de presión que dirige el flujo de la entrada principal 377, el flujo en la entrada principal se divide en dos corrientes de flujo en la primera y segunda salidas 384 y 386. El flujo a través de la primera entrada 374 se fusiona con el flujo a través de la segunda salida 386 corriente debajo de los puertos de comunicación de la presión 392 y 393. De modo similar, el flujo en la segunda entrada 376 se funde con el flujo en la primera salida a 384 corriente abajo desde los puertos de comunicación. En la Figura 10, el total del flujo de fluido a través del sistema amplificador del fluido 670 se fusiona entre sí en un solo chorro en el pasaje principal 680 antes de, o corriente arriba de los puertos de comunicación 692 y 693. En consecuencia, los puertos de presión actúan sobre la corriente combinada del flujo de fluido.

El sistema amplificador 670 también incluye, en esta forma de realización, un interruptor biestable 673, y la primera y segunda salidas 684 y 686. El movimiento del fluido a través del pasaje principal 680 se divide en dos corrientes de fluido en la primera y segunda salidas 684 y 686. El flujo del fluido del pasaje principal se dirige en las salidas por el efecto de la presión comunicada por los puertos de comunicación de la presión, el flujo de fluido resultante se divide en las salidas. La división del fluido entre las salidas 684 y 686 define una relación de fluido; la misma relación se define con los caudales de flujos a través de las entradas del sistema de resistencia dependiente de la vía 654 y 656 en esta forma de realización. Esta relación de fluido es una relación amplificada respecto de la relación entre el flujo a través de las entradas 674 y 676.

El sistema de control del flujo en la Figura 10 incluye un sistema de resistencia dependiente de la vía 650. El sistema de resistencia dependiente de la vía tiene una primera entrada 654 en comunicación fluida con la primera salida 684 del sistema amplificador del fluido 644, una segunda entrada 656 en comunicación fluida con el segundo pasaje 646, una cámara del vórtice 52 y una salida 658. La primera entrada 654 dirige el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial. La segunda entrada 656 dirige el fluido en la cámara del vórtice 656 principalmente en forma radial. El fluido que entra en la cámara del vórtice 652 principalmente en forma tangencial girará en espiral alrededor de la pared del vórtice antes de fluir finalmente a través de la salida del vórtice 658. La formación de espiral del fluido alrededor de la cámara del vórtice aumenta en la velocidad con un aumento coincidente en las pérdidas friccionales. La velocidad tangencial produce una fuerza centrífuga que impide el flujo radial. El fluido de la segunda entrada entra en la cámara principalmente en forma radial y principalmente fluye hacia debajo de la pared de la cámara del vórtice y a través de la salida sin formación de la espiral. En consecuencia, el sistema de resistencia dependiente de la vía proporciona mayor resistencia a los fluidos que ingresan a la cámara principalmente en forma tangencial que los que entran principalmente en forma radial. Esta resistencia se realiza como contrapresión sobre el fluido corriente arriba. La contrapresión se puede aplicar al fluido selectivamente donde se controla la proporción de fluido que entra en el vórtice principalmente en forma tangencial.

El sistema de resistencia dependiente de la vía 650 funciona para proporcionar resistencia al flujo de fluido y una contrapresión resultante sobre el fluido corriente arriba. La resistencia provista al flujo de fluido es dependiente y responde al patrón de flujo de fluido impartido al fluido por el sistema de relación del fluido y, en consecuencia, receptivo para los cambios en la viscosidad del fluido. El

sistema de relación del fluido dirige selectivamente el flujo de fluido en el sistema de resistencia dependiente de la vía basado en la viscosidad relativa del fluido a lo largo del tiempo. El patrón del flujo de fluido en el sistema de resistencia dependiente de la vía determina, al menos en parte, la resistencia impartida al flujo de fluido por el sistema de resistencia dependiente de la vía. En otra parte de la presente se describe el uso del sistema de resistencia dependiente de la vía basado en el caudal de flujo relativo a lo largo del tiempo. El sistema de resistencia dependiente de la vía posiblemente puede ser de otro diseño, pero se prefiere un sistema que proporciona resistencia al flujo de fluido a través de la fuerza centrípeta.

Cabe mencionar que en esta forma de realización, las salidas del sistema amplificador del fluido 684 y 686 están en "lados" opuestos del sistema cuando se comparan con las salidas en la Figura 5. Es decir, en la Figura 10 el primer pasaje del sistema de relación del fluido, la primera entrada del sistema amplificador y la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía están todos en la misma parte longitudinal del sistema de control del flujo. Esto se debe al uso de un amplificador tipo presión 671; cuando se utiliza un amplificador tipo chorro, como en la Figura 5, el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido y primera entrada del vórtice estará en los lados opuestos del sistema. La ubicación relativa de los pasajes y entradas dependerá del tipo y número de amplificadores empleados. El elemento de diseño crítico es que el flujo de fluido amplificado sea dirigido en la entrada del vórtice apropiada para proporcionar el flujo radial o tangencial en el vórtice. La forma de realización del sistema de control del flujo mostrada en la Figura 11 también se puede modificar para utilizar un pasaje principal en el sistema de relación del fluido, y la entrada principal en el sistema amplificador, como se explica con respecto a la Figura 5 anterior.

Las Figuras 11 A-B son modelos de dinámica de fluidos computacional que muestran resultados de ensayo del flujo de

fluido de diferentes viscosidades a través del sistema de flujo que se observa en la Figura 10. El sistema analizado utilizó un primer pasaje dependiente de la viscosidad 644 que tiene un ID con una sección transversal de 0,04 pulgadas cuadradas. El pasaje independiente de la viscosidad 646 utilizó un diodo del vórtice 649 de 1,4 pulgadas de diámetro. Se empleó un amplificador de fluido tipo presión 671, como se mostró y explicó anteriormente. El interruptor biestable 673 usado tenía 13 pulgadas de largo con pasajes de 0,6 pulgadas. El sistema de resistencia dependiente de la vía 650 tenía una cámara de 3 pulgadas de diámetro con un puerto de salida de 0,5 pulgadas.

La Figura 11A muestra un modelo de dinámica de fluidos computacional del sistema en el cual se analiza el petróleo que tiene una viscosidad de 25 cP. La relación de flujo del fluido definida por el caudal de flujo del fluido volumétrico a través del primer y segundo pasajes del sistema de control de la relación de flujo se midió como 47:53. En el amplificador tipo a presión 671 se midieron los caudales de flujo como 88,4% a través del pasaje principal 680 y 6,6% y 5% a través del primer y segundo puerto de presión 692 y 693, respectivamente. La relación de fluido inducida por el sistema amplificador del fluido, definida por los caudales de flujo a través de la primera y segunda salida del amplificador 684 y 686, se midió como 70:30. El interruptor biestable o el sistema selector, con este régimen de flujo, se dice que está "abierto".

La Figura 11B muestra un modelo de dinámica de fluidos computacional del mismo sistema que utiliza gas natural que tiene una viscosidad de 0,022 cP. El modelo de dinámica de fluidos computacional es para gas de aproximadamente 5000 psi. La relación del flujo de fluido definida por el caudal de flujo del fluido volumétrico a través del primer y segundo pasajes del sistema de control de la relación de flujo se midió como 55:45. En el amplificador tipo a presión 671 los caudales de flujo se midieron como 92,6% a través de pasaje principal 680 y 2,8% y 4,6% a través del primer y segundo

puerto de presión 692 y 693, respectivamente. La relación del fluido inducida por el sistema amplificador del fluido, definida por los caudales de flujo a través de la primera y segunda salida del amplificador 684 y 686, se midió como 10:90. El interruptor biestable o el sistema selector, con este régimen de flujo, se dice que está "cerrado" ya que la mayor parte del fluido se dirige a través de la primera entrada del vórtice 654 y entra en la cámara del vórtice 652 principalmente en forma tangencial, como se puede observar por los patrones de flujo en la cámara del vórtice, lo que crea una contrapresión relativamente alta en el fluido.

En la práctica, puede ser conveniente utilizar múltiples amplificadores de fluido en serie en el sistema amplificador del fluido. El uso de múltiples amplificadores permitirá mayor diferenciación entre los fluidos de viscosidad relativamente similar; es decir, el sistema será mejor para crear un patrón de flujo diferente a través del sistema cuando el fluido cambia relativamente poco en la viscosidad global. Una pluralidad de amplificadores en serie proporcionará una mayor amplificación de la relación de fluido creada por el dispositivo de control de la relación del fluido. En forma adicional, el uso de múltiples amplificadores ayudará a superar la estabilidad inherente de cualquier interruptor biestable en el sistema, lo que permite un cambio en la condición del interruptor basado en un porcentaje de cambio menor de la relación de fluido en el sistema de control de la relación de fluido.

La Figura 12 es un esquema de un sistema de control del flujo de acuerdo con una forma de realización de la invención que utiliza un sistema de control de la relación de fluido 740, un sistema amplificador del fluido 770 que tiene dos amplificadores 790 y 795 en serie, y un sistema de resistencia dependiente de la vía 750. La forma de realización de la Figura 12 es similar a los sistemas de control de flujo descritos en la presente y se tratarán solo brevemente. De corriente arriba a corriente abajo, el sistema se dispone con el sistema de control de la relación de flujo

740, el sistema amplificador del fluido 770, el sistema amplificador biestable 795, y el sistema de resistencia dependiente de la vía 750.

El sistema de relación del fluido 740 que se muestra tiene primer, segundo y principal pasaje 744, 746, y 747. En este caso, tanto el segundo 46 como el pasaje principal 747 utilizan diodos del vórtice 749. El uso de los diodos del vórtice y otros dispositivos de control se selecciona sobre la base de consideraciones de diseño que incluyen las viscosidades relativas esperadas de fluido a lo largo del tiempo, la viscosidad preseleccionada o blanco a la que el selector de fluido va a "seleccionar" o permitir que el fluido fluya relativamente sin obstáculos a través del sistema, las características del ambiente en que se va a usar el sistema, y las consideraciones de diseño tales como espacio, costo, sencillez del sistema, etc. En la presente, el diodo del vórtice 749 en el pasaje principal 747 tiene una salida más grande que la del diodo del vórtice en el segundo pasaje 746. El diodo del vórtice se incluye en el pasaje principal 747 para crear una relación de división más conveniente, en especial cuando el fluido de la formación está compuesto de un mayor porcentaje de gas natural. Por ejemplo, sobre la base de la prueba, son o sin un diodo del vórtice 749 en el pasaje principal 747, una relación de división típica (primer:segundo:principal) a través de los pasajes cuando el fluido está compuesto principalmente de petróleo fue aproximadamente 29:38:33. Cuando el fluido de ensayo estaba compuesto principalmente de gas natural y no se utilizó diodo del vórtice en el pasaje principal, la relación de división fue 35:32:33. Al añadir el diodo del vórtice al pasaje principal, esta relación se alteró a 38:33:29, con preferencia, el sistema de control de la relación crea una relación relativamente más grande entre los pasajes dependientes e independientes de la viscosidad (o viceversa de acuerdo con si el usuario desea seleccionar la producción de un fluido de mayor o menor viscosidad). El uso del diodo del vórtice asiste en la creación de una relación mayor. Si

bien la diferencia en el uso del diodo del vórtice puede ser relativamente pequeña, mejora el rendimiento y la efectividad del sistema amplificador.

Cabe indicar que en esta forma de realización se utiliza un diodo del vórtice 749 en el pasaje "independiente de la viscosidad" 746 más que un pasaje con múltiples orificios. Como se explicó en la presente, se pueden emplear diferentes formas de realización para crear pasajes que son relativamente dependientes o independientes de la viscosidad. El uso de un diodo del vórtice 749 crea una caída de presión menor para un fluido tal como petróleo, que es conveniente en algunas utilizaciones del dispositivo. Además, el uso de dispositivos de control del fluido dependientes de la viscosidad seleccionados (diodo del vórtice, orificios, etc.) puede aumentar la relación del fluido ratio entre los pasajes de acuerdo con la aplicación.

El sistema amplificador del fluido 770 en la forma de realización mostrada en la Figura 12 incluye dos amplificadores de fluido 790 y 795. Los amplificadores se disponen en serie. El primer amplificador es un amplificador proporcional 790. El primer sistema amplificador 790 tiene una primera entrada 774, segunda entrada 776, y entrada principal 777 en comunicación fluida con, respectivamente, el primer pasaje 746, segundo pasaje 746 y pasaje principal 747 del sistema de control de la relación de fluido. El primer, segundo y principal pasaje se conectan entre sí y se funden al flujo de fluido a través de las entradas descriptas en otra parte de la presente. El flujo de fluido se une en una corriente de flujo de fluido única en una cámara amplificador proporcional 780. Los caudales de flujo del fluido desde la primera y segunda entrada dirigen el flujo de fluido combinado en la primera salida 784 y segunda salida 786 del amplificador proporcional 790. El sistema de amplificador proporcional 790 tiene dos "lóbulos" para la manipulación del flujo del remolino y alteración del flujo menor. Un puerto de equilibrio de presión 789 conecta fluidamente los dos lóbulos para equilibrar la presión entre los dos lóbulos sobre cada

lado del amplificador.

El sistema amplificador del fluido también incluye un segundo sistema amplificador del fluido 795, en este caso un amplificador con interruptor biestable. El amplificador 795 tiene una primera entrada 794, una segunda entrada 796 y una entrada principal 797. La primera y segunda entradas 794 y 796 están, respectivamente, en comunicación fluida con la primera y segunda salidas 784 y 786. El amplificador con interruptor biestable 795 mostrado tiene una entrada principal 797 que está en comunicación fluida con el pasaje interior de la tubuladura. El flujo de fluido de la primera y segunda entradas 794 y 796 dirigen los flujos de fluido combinados desde las entradas a la primera y segunda salidas 798 y 799. El sistema de resistencia dependiente de la vía 750 es como se describe en otra parte de la presente.

Se pueden emplear múltiples amplificadores en serie para aumentar la relación de división de los caudales de flujo del fluido. En la forma de realización mostrada, por ejemplo, cuando un fluido compuesto principalmente de petróleo está fluyendo a través del sistema selector, el sistema de relación del fluido 740 crea una relación de flujo entre el primer y segundo pasajes de 29:38 (con el restante 33 por ciento del flujo a través del pasaje principal). El sistema proporcional amplificador 790 puede amplificar la relación a aproximadamente 20:80 (primera:segunda salidas del sistema amplificador 790). El sistema amplificador con interruptor biestable 795 luego puede amplificar la relación además de por ejemplo, 10:90 a medida que el fluido entra en la primera y segunda entradas al sistema de resistencia dependiente de la vía. En la práctica, un amplificador biestable tiende a ser relativamente estable. Es decir, el cambio del patrón de flujo en las salidas del interruptor biestable puede requerir un cambio relativamente grande en el patrón de flujo de las entradas. El amplificador proporcional tiende a dividir la relación de flujo de modo más uniforme sobre la base de los flujos de entrada. El uso de un amplificador proporcional, tal como en 790, ayudará a crear un cambio suficientemente

grande en el patrón de flujo en el interruptor biestable para efectuar un cambio en la condición del interruptor (de "abierto" a "cerrado" y viceversa).

El uso de múltiples amplificadores en un solo sistema amplificador puede incluir el uso de cualquier tipo o diseño de amplificador conocido en la técnica, que incluye amplificadores tipo presión, tipo chorro, biestable, proporcional, etc., en cualquier combinación. Se describe específicamente que el sistema amplificador puede utilizar cualquier número y tipo de amplificador de fluido, en serie o paralelo. En forma adicional, los sistemas amplificadores pueden incluir el uso de entradas principales o no, según sea deseado. Además, como se muestra, las entradas principales se pueden alimentar con el fluido directamente del pasaje interior de la tubuladura u otra fuente de fluido. El sistema mostrado en la Figura 12 está "doblado hacia atrás" sobre sí mismo; es decir, revierte la dirección del flujo de izquierda a derecha a lo largo del sistema a derecha a izquierda. Esta técnica de ahorro de espacio sin embargo no es crítica para la invención. Las especificaciones de las posiciones espaciales relativas del sistema de relación del fluido, sistema amplificador y sistema de resistencia dependiente de la vía se informarán por consideraciones de diseño tales como espacio disponible, tamaño, materiales, problemas de sistema y fabricación.

Las Figuras 13A y 13B son modelos de dinámica de fluidos computacional que muestran los patrones de flujo del fluido en la forma de realización del sistema de control del flujo que se observan en la Figura 12. En la Figura 13A, el fluido utilizado fue gas natural. La relación de fluido en la primera, segunda y principal salida del sistema de relación del fluido 38:33:29. El sistema de amplificador proporcional 790 amplificó la relación a aproximadamente 60:40 en la primera y segunda salidas 784 y 786. Esta relación se amplificó adicionalmente por el segundo sistema amplificador 795, donde la relación de la primera:segunda:principal entrada fue aproximadamente 40:30:20. La relación del

producto del segundo amplificador 795 medido en la primera y segunda salidas 798 y 799 o en la primera y segunda entradas en el sistema de resistencia dependiente de la vía fue aproximadamente 99:1. El fluido de viscosidad relativamente baja fue forzado a fluir principalmente en la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía y luego en el vórtice en un trayecto sustancialmente tangencial. El fluido se fuerza a rotar sustancialmente alrededor del vórtice creando una mayor caída de presión que si el fluido hubiera entrado al vórtice principalmente en forma radial. Esta caída de presión crea una contrapresión sobre el fluido en el sistema selector y lentifica la producción del fluido. En la Figura 13B, se muestra un modelo de dinámica de fluidos computacional donde el fluido analizado estaba compuesto de petróleo de viscosidad 25 cP. El sistema de control de la relación de fluido 740 dividió el caudal de flujo en una relación de 29:38:33. El primer sistema amplificador 790 amplificó la relación a aproximadamente 40:60. El segundo sistema amplificador 795 también amplificó esta relación a aproximadamente 10:90. Como se puede observar, el fluido fue forzado a fluir en el sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente a través de la segunda entrada sustancialmente radial 56. Si bien se crea algún flujo rotacional en el vórtice, la porción sustancial del flujo es radial. Este patrón de flujo crea una caída de presión menor sobre el petróleo que la que se hubiera creado si el petróleo fluyera principalmente en forma tangencial en el vórtice. En consecuencia, se crea menos contrapresión sobre el fluido en el sistema. El sistema de control del flujo se dice que "selecciona" el fluido de viscosidad mayor, petróleo en este caso, respecto del fluido menos viscoso, gas.

La Figura 14 es una vista en perspectiva transversal de un sistema de control del flujo de acuerdo con la presente invención como se observa en la Figura 12 ubicado en una pared de la tubuladura. Las diversas porciones del sistema de control del flujo 25 se crean en la pared de la tubuladura 731. Un manguito, no mostrado u otra cubierta luego se coloca

sobre el sistema. El manguito, en este ejemplo, forma una porción de las paredes de los diversos pasajes de fluido. Los pasajes y vórtices se pueden crear por molienda, colado u otro método. En forma adicional, las diversas porciones del sistema de control del flujo se pueden fabricar en forma separada y conectar entre sí.

Los ejemplos y resultados del ensayo descriptos anteriormente en relación con las Figuras 10-14 se diseñan para seleccionar un fluido más viscoso, tal como petróleo, respecto de un fluido con características diferentes, tales como gas natural. Es decir, el sistema de control del flujo permite la producción del fluido relativamente más sencilla cuando esta compuesto de una mayor proporción de petróleo y proporciona mayor restricción a la producción del fluido cuando cambia de composición a lo largo del tiempo para tener una mayor proporción de gas natural. Cabe mencionar que no se requiere necesariamente que la proporción relativa de petróleo sea mayor de la mitad que la del fluido seleccionado. Se entiende expresamente que los sistemas descriptos se pueden utilizar para seleccionar entre cualquier fluido de diferentes características. Además, el sistema se puede diseñar para seleccionar entre el fluido de la formación ya que varía entre las cantidades proporcionales de cualquiera de los fluidos. Por ejemplo, en un pozo de petróleo donde se espera que el flujo que fluye de la formación varíe con el tiempo entre diez y veinte por ciento de la composición de petróleo, el sistema se puede diseñar para seleccionar el fluido y permitir un flujo relativamente mayor cuando el fluido está compuesto de veinte por ciento de petróleo.

En una forma de realización preferida, el sistema se puede usar para seleccionar el fluido cuando tiene una viscosidad relativamente más baja respecto de cuando es de una viscosidad relativamente más. Es decir, el sistema puede seleccionar producir gas respecto de petróleo, o gas respecto de agua. Tal disposición es útil para restringir la producción de petróleo o agua en un pozo de producción de gas. Tal cambio de diseño se puede librar por la alteración

del sistema de resistencia dependiente de la vía de modo que el fluido de viscosidad menor se dirige en el vórtice principalmente en forma radial mientras que el fluido de viscosidad mayor se dirige en el sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente en forma tangencial. Tal sistema se muestra en la Figura 15.

La Figura 15 es un esquema de un sistema de control del flujo de acuerdo con una forma de realización de la invención diseñada para seleccionar un fluido de viscosidad menor por encima de un fluido de viscosidad mayor. La Figura 15 es sustancialmente similar a la Figura 12 y no se explicará en detalle. Cabe mencionar que las entradas 854 y 856 a la cámara del vórtice 852 están modificadas, o "invertidas", de modo que la entrada 854 dirige el fluido en el vórtice 852 principalmente en forma radial mientras que la entrada 856 dirige el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial. En consecuencia, cuando el fluido es de viscosidad relativamente baja, tal como cuando están compuestos principalmente de gas natural, el fluido se dirige en el vórtice principalmente en forma radial. El fluido es "seleccionado", el sistema de control del flujo está "abierto", se imparte una resistencia y contrapresión baja sobre el fluido, y el fluido fluye en forma relativamente fácil a través del sistema. A la inversa, cuando el fluido es de viscosidad relativamente más alta, tal como cuando está compuesto de un mayor porcentaje de agua, se dirige en el vórtice principalmente en forma tangencial. El fluido de viscosidad mayor no se selecciona, el sistema está "cerrado", se imparte una resistencia y contrapresión mayor (que la que puede impartir sin el sistema en su lugar) al fluido, y se reduce la producción del fluido. El sistema de control del flujo se puede diseñar para cambiar entre abierto y cerrado a una viscosidad o porcentaje de componentes fluidos de la composición preseleccionado. Por ejemplo, el sistema se puede diseñar para cerrar cuando el fluido alcanza 40% de agua (o una viscosidad igual a la del fluido de esta composición). El sistema se puede usar en la producción, tal como en los pozos

de gas para impedir la producción de agua o petróleo, o en los sistemas de inyección para seleccionar la inyección de vapor respecto del agua. Otros usos serán evidentes para los expertos en la técnica, que incluyen el uso de otras características del fluido, tales como densidad o caudal de flujo.

El sistema de control del flujo se puede usar e otros métodos, así como, por ejemplo, en reparación de pozos y producción petroleros, a menudo se desea inyectar un fluido, normalmente vapor, en un pozo de inyección.

La Figura 16 es un esquema que muestra el uso del sistema de control del flujo de la invención en un pozo de inyección y producción. Uno o más pozos de inyección 1200 se inyectan con un fluido de inyección mientras que los fluidos de la formación deseados se producen en uno o más pozos de producción 1300. El pozo de producción 1300 de la perforación 1302 se extiende a través de la formación 1204. Una columna de producción de la tubería 1308 se extiende a través de la perforación que tiene una pluralidad de secciones de la tubuladura de producción 24. Las secciones de la tubuladura de producción 24 se pueden aislar de otra descrita en relación con la Figura 1 por los obturadores 26. Los sistemas de control del flujo se pueden emplear en uno o ambos pozos de inyección y producción.

El pozo de inyección 1200 incluye una perforación 1202 que se extiende a través de una formación portadora de hidrocarburo 1204. El aparato de inyección incluye una o más líneas de suministro de vapor 1206 que normalmente se extienden desde la superficie a la ubicación del fondo del pozo de la inyección sobre una columna de la tubería 1208. Los métodos de inyección son conocidos en la técnica y no se describirán aquí en detalle. Los múltiples sistemas del puerto de inyección 1210 se espacian a lo largo de la extensión de la columna de tubería 1208 junto con las zonas blanco de la formación. Cada uno de los sistemas del puerto 1210 incluye uno o más sistemas de control del flujo autónomos 1225. Los sistemas de control del flujo pueden ser de cualquier

disposición particular en la presente, por ejemplo, del diseño mostrado en la Figura 15, mostrado en una forma de realización preferida para uso en inyección. Durante el proceso de inyección, el agua caliente y el vapor a menudo se mezclan y existen en las relaciones variadas en el fluido de inyección. A menudo el agua caliente se hace circular en el fondo del pozo hasta que el sistema ha alcanzado las condiciones de temperatura y presión deseadas para proporcionar principalmente vapor para la inyección en la formación. Normalmente no es conveniente inyectar agua caliente en la formación.

En consecuencia, los sistemas de control del flujo 1225 se utilizan para seleccionar la inyección de vapor (u otro fluido de inyección) sobre la inyección de agua caliente u otros fluidos convenientes deseables. El sistema de relación del fluido dividirá el fluido de inyección en relaciones de flujo basadas en una característica relativa del flujo de fluido, tal como viscosidad, ya que esta cambia con el tiempo. Cuando el fluido de inyección tiene una proporción no conveniente de agua y una consecuente viscosidad relativamente más alta, por consiguiente el sistema de control de la relación dividirá el flujo y el sistema selector dirigirá el fluido en la entrada tangencial del vórtice, de este modo se restringe la inyección de agua en la formación. A medida que el fluido de inyección cambia a una mayor proporción de vapor, con un consecuente cambio a una viscosidad menor, el sistema selector dirige el fluido en el sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente en forma radial lo que permite la inyección del vapor con menos contrapresión que si el fluido entrara al sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente en forma tangencial. El sistema de control de la relación de fluido 40 puede dividir el fluido de inyección sobre la base de cualquier característica del flujo de fluido, que incluye viscosidad, densidad y velocidad.

En forma adicional, los sistemas de control del flujo 25 se pueden utilizar sobre el pozo de producción 1300. El uso de

sistemas selectores 25 en el pozo de producción se puede entender a través de la explicación de la presente, en especial con referencia a la Figura 1 y 2. A medida que el vapor se fuerza a través de la formación 1204 del pozo de inyección 1200, el hidrocarburo residente, por ejemplo petróleo, en la formación es forzado a fluir hacia y dentro el pozo de producción 1300. Los sistemas de control del flujo 25 sobre el pozo de producción 1300 se seleccionarán para el fluido de producción deseado y restringirán la producción del fluido de inyección. Cuando el fluido de inyección "penetra" y comienza a ser producido en el pozo de producción, los sistemas de control del flujo restringirán la producción del fluido de inyección. Es típico que el fluido de inyección penetrará a lo largo de las secciones de la perforación de producción de forma desigual. Debido a que los sistemas de control del flujo se ubican a lo largo de secciones aisladas de la tubería de producción, los sistemas de control del flujo permitirán la producción menos restringida del fluido de la formación en las secciones de la tubería de producción donde no ha ocurrido la penetración y restringe la producción de fluido de inyección de las secciones donde ha ocurrido la penetración. Cabe mencionar que el flujo de fluido de cada sección de la tubería de producción está conectado con la columna de producción 302 en paralelo para proporcionar tal selección.

Los métodos de inyección descritos anteriormente se describen para la inyección de vapor. Se entiende que se puede utilizar dióxido de carbono u otro fluido de inyección. El sistema selector operará para restringir el flujo del fluido de inyección no deseado, tal como agua, mientras que no proporciona aumento de resistencia al flujo del fluido de inyección deseado, tal como vapor o dióxido de carbono. En su diseño más básico, el sistema de control del flujo para usar en los métodos de inyección se invierte el funcionamiento a partir del control de flujo del fluido como se explicó en la presente para usar en la producción. Es decir, el fluido de inyección fluye desde las líneas de suministro, a través del

sistema de control del flujo (sistema de control de la relación de flujo, sistema amplificador y sistema de resistencia dependiente de la vía), y luego en la formación. El sistema de control del flujo está diseñado para seleccionar el fluido de inyección preferido; es decir, para dirigir el fluido de inyección en el sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente en forma radial. El fluido no deseado, tal como agua, no se selecciona; es decir, se dirige en el sistema de resistencia dependiente de la vía principalmente en forma tangencial. En consecuencia, cuando el flujo no deseado está presente en el sistema, se crea una contrapresión mayor en el fluido y se restringe el flujo de fluido. Cabe mencionar que se imparte una mayor contrapresión sobre el fluido que ingresa principalmente en forma tangencial que el que impartiría si no se utilizara el sistema selector. Esto no requiere que la contrapresión necesariamente sea más alta en un fluido no seleccionado que en un fluido seleccionado, aunque también puede ser preferible.

Un interruptor biestable, tal como se muestra en el interruptor 170 en la Figura 5 y en el interruptor 795 en la Figura 12, tiene propiedades que se pueden utilizar para controlar el flujo incluso sin el uso de un sistema de relación del flujo. El rendimiento del interruptor biestable 795 es dependiente del caudal de flujo, o velocidad. Es decir, a velocidades o caudales de flujo bajos el interruptor 795 carece de biestabilidad y el fluido fluye en las salidas 798 y 799 en aproximadamente cantidades iguales. A medida que aumenta el caudal de flujo en el interruptor biestable 795, finalmente se forma la biestabilidad.

Se puede utilizar al menos un interruptor biestable para proporcionar la producción de fluido selectivo en respuesta a la variación de la velocidad del fluido o el caudal de flujo. En tal sistema, el fluido se "selecciona" o sistema de control de fluido se abre cuando el caudal de flujo del fluido está bajo una tasa preseleccionada. El fluido a una tasa baja fluirá a través del sistema con relativamente poca

resistencia. Cuando el caudal de flujo aumenta por encima de la tasa preseleccionada, el interruptor se cierra "girado" y es resistido el flujo de fluido. La válvula cerrada, obviamente, reducirá el caudal de flujo a través del sistema. Un interruptor biestable 170, como se observa en la Figura 5, una vez activado, proporcionará un efecto Coanda sobre la corriente del fluido. El efecto Coanda es la tendencia de un chorro de fluido a ser atraído a una superficie cercana. El término se usa para describir la tendencia del chorro de fluido que sale del sistema de la relación del flujo, una vez dirigido en una salida del interruptor seleccionada, tal como salida 184, para permanecer dirigido en este trayecto de flujo incluso cuando la relación de flujo retorna a su condición previa debido a la proximidad de la pared del interruptor de fluido. A un bajo caudal de flujo, el interruptor biestable carece de biestabilidad y el fluido fluye de modo aproximadamente igual a través de las salidas 184 y 186 y luego aproximadamente igual en las entradas del vórtice 154 y 156. En consecuencia, se crea poca contrapresión en el fluido y el sistema de control del flujo se abre efectivamente. A medida que el caudal de flujo aumenta en el interruptor biestable 170, se forma finalmente la biestabilidad y el cambio se realiza como se desea, dirigiendo una mayor parte del flujo de fluido a través de la salida 84 y luego principalmente en forma tangencial en el vórtice 152 a través de la entrada 154 de este modo se cierra la válvula. La contrapresión, obviamente, producirá la reducción del caudal de flujo, pero el efecto Coanda mantendrá el flujo de fluido en la salida del interruptor 184 aun cuando el caudal de flujo disminuye. Finalmente, el caudal de flujo puede caer suficiente para superar el efecto Coanda y el flujo retornará al flujo aproximadamente igual a través de las salidas del interruptor, de este modo se re-abre la válvula.

El sistema de control de flujo dependiente de la velocidad o el caudal de flujo puede utilizar amplificadores de fluido como se describió anteriormente en relación con los sistemas

selectores dependientes de la viscosidad del fluido, tal como se observa en la Figura 12.

En otra forma de realización de un sistema de control del flujo autónomo dependiente de la velocidad o caudal de flujo, se usa un sistema que utiliza un sistema de relación del fluido, similar al mostrado en el sistema de control de la relación 140 en la Figura 5. Los pasajes del sistema de control de la relación 144 y 146 se modifican, según sea necesario, para dividir el flujo de fluido sobre la base del caudal de flujo del fluido relativo (más que la viscosidad relativa). Se puede usar un pasaje principal 147 si se desea. El sistema de control de la relación en esta forma de realización divide el flujo en una relación basada en la velocidad del fluido. Cuando la relación de velocidad está por encima de una cantidad preseleccionada (por ejemplo, 1,0), el sistema de control del flujo se cierra y resiste el flujo. Cuando la relación de velocidad está por debajo de la cantidad predeterminada, el sistema se abre y el flujo de fluido es relativamente libre. Como la velocidad de flujo de fluido cambia con el tiempo, la válvula se abrirá o cerrará como respuesta. Se puede diseñar un pasaje de control de la relación de flujo control para proporcionar una mayor tasa de aumento de la resistencia al flujo en función del aumento de velocidad por encima de una velocidad blanco en comparación con el otro pasaje. Alternativamente, se puede diseñar un pasaje para proporcionar una menor tasa de aumento de la resistencia al flujo de fluido en función de una velocidad de fluido por encima de una velocidad específica en comparación con el otro pasaje.

Otra forma de realización de una válvula de fluido basada en la velocidad se observa en las Figuras 17A-C, en que se usa un sistema de resistencia dependiente de la vía de fluido 950 para crear un interruptor biestable. El sistema de resistencia dependiente de la vía 950 con preferencia tiene una sola entrada 954 y sola salida 958 en esta forma de realización, si bien se pueden añadir otras entradas y salidas para regular el flujo, dirección del flujo, eliminar

remolinos, etc. Cuando el fluido fluye por debajo de una velocidad o caudal de flujo preseleccionado, el fluido tiende a fluir simplemente a través de la salida del vórtice 958 sin rotación sustancial alrededor de la cámara del vórtice 952 y sin crear una caída de presión significativa a lo largo del sistema de resistencia dependiente de la vía 50 como se observa en la Figura 17A. A medida que la velocidad o caudal de flujo aumenta por encima de una velocidad preseleccionada, como se observa en la Figura 17B, el fluido rota alrededor de la cámara del vórtice 952 antes de salir a través de la salida 958, de este modo se crea una mayor caída de presión a través del sistema. El interruptor del vórtice biestable luego se cierra. A medida que la velocidad o caudal de flujo disminuye, como se representa en la Figura 17C, el fluido continúa rotando alrededor de la cámara del vórtice 952 y continúan teniendo una caída de presión significativa. La caída de presión a través del sistema crea una contrapresión correspondiente en el fluido corriente arriba. Cuando la velocidad o caudal de flujo cae suficientemente, el fluido retornará al patrón de flujo observado en la Figura 17A y el interruptor se reabrirá. Se espera que ocurra un efecto de histéresis.

Tal aplicación de un interruptor biestable permite el control del fluido sobre la base de los cambios en una característica de velocidad o caudal de flujo. Tal control es útil en las aplicaciones en que es conveniente mantener la velocidad de producción o inyección o caudal de flujo en o por debajo de una tasa dada. Otra aplicación será evidente para los expertos en la técnica.

Los sistemas de control del flujo que se describen en la presente también pueden utilizar cambios en la densidad del fluido con el tiempo para controlar el flujo de fluido. Los sistemas autónomos y las válvulas descritas en la presente dependen de los cambios en una característica del flujo de fluido. Como se describió anteriormente, la viscosidad del fluido y el caudal de flujo pueden ser la característica del fluido utilizada para controlar el flujo. En un ejemplo del

sistema diseñado para aprovechar los cambios en la característica del fluido de densidad, un sistema de control del flujo como se observa en la Figura 3 proporciona un sistema de relación del fluido 40 que emplea al menos dos pasajes 44 y 46 donde un pasaje es más dependiente de la densidad que el otro. Es decir, el pasaje 44 suministra una mayor resistencia al flujo para un fluido que tiene una mayor densidad mientras que el otro pasaje 46 es sustancialmente independiente de la densidad o tiene una relación de flujo inversa a la densidad. De tal manera, a medida que el fluido cambia a una densidad preseleccionada, se "selecciona" para la producción y fluye con relativamente menos resistencia a través del sistema completo 25 con menos contrapresión impartida; es decir, el sistema o válvula se "abrirá". A la inversa, a medida que la densidad cambia con el tiempo a una densidad no deseable, el sistema de control de la relación de flujo 40 cambiará la relación del producto y el sistema 25 impartirá una contrapresión relativamente mayor; es decir, la válvula "se cierra".

Otras disposiciones del sistema de control del flujo también se pueden utilizar con una forma de realización dependiente de la densidad. Tales disposiciones incluyen la adición de los sistemas amplificadores, sistemas de resistencia dependiente de la vía y similares como se explicaron en otra parte en la presente. Además, los sistemas dependientes de la densidad pueden utilizar interruptores biestables y otros dispositivos de control fluídico en la presente.

En tal sistema, el fluido se "selecciona" o la válvula del selector del fluido se abre cuando la densidad del fluido está por encima o debajo de una densidad preseleccionada. Por ejemplo, un sistema diseñado para seleccionar la producción de fluido cuando está compuesto de un porcentaje relativamente mayor de petróleo, se diseña para seleccionar la producción del fluido, o estar abierta, cuando el fluido está por encima de una densidad blanco. A la inversa, cuando la densidad del fluido cae por debajo de la densidad blanco, el sistema se diseña para estar cerrado. Cuando la densidad

cae por debajo de la densidad preseleccionada, el interruptor se cierra "girado" y se resiste el flujo de fluido.

El sistema de control del flujo dependiente de la densidad puede utilizar amplificadores de fluido como se describió antes en relación con los sistemas de control del flujo dependientes de la viscosidad del fluido, tal como se observa en la Figura 12. En una forma de realización de un sistema de control del flujo autónomo dependiente de la densidad, se usa un sistema que utiliza un sistema de relación del fluido, similar al mostrado en el sistema de control de la relación 140 en la Figura 5. Los pasajes del sistema de control de la relación 144 y 146 se modifican, según sea necesario, para dividir el flujo de fluido basado en la densidad del fluido relativo (más que la viscosidad relativa). Se puede usar un pasaje principal 147 si se desea. El sistema de control de la relación en esta forma de realización divide el flujo en una relación basada en la densidad del fluido. Cuando la relación de densidad está por encima (o debajo) de una relación preseleccionada, el sistema selector se cierra y resiste el flujo. A medida que la densidad de flujo de fluido cambia con el tiempo, la válvula se abrirá o cerrará como respuesta.

Los sistemas dependientes de la velocidad descritos anteriormente se pueden utilizar en el método de inyección en el vapor donde existen múltiples puertos de inyección alimentados desde la misma línea de suministro del vapor. A menudo durante la inyección del vapor, se encuentra una "zona de filtraciones" que exuda una cantidad desproporcionada de vapor desde el sistema de inyección. Es conveniente limitar la cantidad de vapor inyectado en la zona de filtraciones de modo que todas las zonas alimentadas por un suministro de vapor reciban cantidades apropiadas de vapor.

Retornando a la Figura 16, se utiliza un pozo de inyección 1200 con la fuente de vapor 1201 y la línea de suministro de vapor 1206 que suministra vapor a múltiples sistemas del puerto de inyección 1210. Los sistemas de control del flujo 1225 son sistemas dependientes de la velocidad, como se describió anteriormente. La inyección de vapor se suministra

desde la línea de suministro 1206 a los puertos 1210 y desde allí en la formación 1204. El vapor se inyecta a través del sistema de control del flujo dependiente de la velocidad, tal como un interruptor biestable 170, que se observa en la Figura 5, a una tasa "baja" preseleccionada en la que el interruptor no exhibe biestabilidad. El vapor simplemente fluye en las salidas 184 y 186 en proporción básicamente similar. Las salidas 184 y 186 están en comunicación fluida con las entradas 154 y 156 del sistema de resistencia dependiente de la vía. El sistema de resistencia dependiente de la vía 150 en consecuencia no creará una contrapresión significativa sobre el vapor que entrará en la formación con relativa facilidad.

Si se encuentra una zona de filtraciones, el caudal de flujo de vapor a través del sistema de control del flujo aumentará por encima de la velocidad de inyección baja preseleccionada a una velocidad relativamente alta. El aumento del caudal de flujo del vapor a través del interruptor biestable causará que el interruptor esté biestable. Es decir, el interruptor 170 forzará que una cantidad desproporcionada del vapor fluya a través de la salida del interruptor biestable 184 y en el sistema de resistencia dependiente de la vía 150 a través de la entrada orientada principalmente en forma tangencial 154. En consecuencia la velocidad de inyección del vapor en la zona de filtraciones será restringida por los selectores de fluido autónomos. (Alternativamente, los sistemas de control de flujo dependientes de la velocidad pueden utilizar el sistema de resistencia dependiente de la vía mostrado en la Figura 17 u otros sistemas dependientes de la velocidad descritos en otra parte para el efecto similar).

Se espera que ocurra un efecto de histéresis. A medida que el caudal de flujo del vapor aumenta y crea la biestabilidad en el interruptor 170, el caudal de flujo a través del sistema de control del flujo 125 será restringido por la contrapresión creada por el sistema de resistencia dependiente de la vía 140. Esto, a su vez, reducirá el caudal de flujo a la tasa baja preseleccionada, en este momento el

interruptor biestable cesará de funcionar, y el vapor fluirá de nuevo en forma relativamente uniforme a través de las entradas del vórtice y en la formación sin restricción.

El efecto de histéresis puede producir "pulsación" durante la inyección. La pulsación durante la inyección puede llevar a la mejor penetración del espacio del poro debido que la pulsación transitoria estará empujando contra la inercia del fluido circundante y las vías dentro del espacio del poro más estrecho puede convertirse en el trayecto de menor resistencia. Esto es un beneficio añadido al diseño donde la pulsación está en la tasa apropiada.

Para "reajustar" el sistema, o retornar al patrón de flujo inicial, el operador reduce o detiene el flujo de vapor en la línea de suministro. El suministro de vapor luego se reestablece y los interruptor biestables están de nuevo en su condición inicial sin biestabilidad. El proceso se puede repetir cuando sea necesario.

En algunos lugares, es ventajoso tener un sistema o válvula control del flujo autónomo que restringe la producción de fluido de inyección a medida que comienza a penetrar en el pozo de producción, sin embargo, una vez que ha ocurrido la penetración a través del pozo completo, la válvula del selector de fluido autónomo se apaga. En otras palabras, la válvula del selector de fluido autónomo restringe la producción de agua en el pozo de producción hasta alcanzar el punto en que la restricción está dañando la producción de petróleo de la formación. Una vez que se alcanza este punto, el sistema de control del flujo cesa la restricción de la producción en el pozo de producción.

En la Figura 16, la concentración en el pozo de producción 1300, la columna de tubería de la producción 1308 tiene una pluralidad de secciones de la tubuladura de producción 24, cada una con al menos un sistema de control del flujo autónomo 25.

En una forma de realización, el sistema de control del flujo autónomo funciona como un interruptor biestable, tal como se observa en la Figura 17 en el interruptor biestable 950. El

interruptor de fluido biestable 950 crea una región donde se pueden hallar diferentes caídas de presión para el mismo caudal de flujo. La Figura 18 es un cuadro de presión P versus caudal de flujo Q que ilustra el flujo a través del interruptor biestable, sistema de resistencia dependiente de la vía 950. A medida que aumenta el caudal de flujo del fluido en la región A, aumenta gradualmente la caída de presión a través del sistema. Cuando el caudal de flujo aumenta a una tasa preseleccionada, la presión saltará, como se observa en la región B. A medida que el aumento de presión lleva a un caudal de flujo reducido, la presión permanecerá relativamente alta, como se observa en la región C. Si el caudal de flujo cae suficientemente, la presión caerá significativamente y el ciclo puede comenzar de nuevo. En la práctica el beneficio de este efecto de histéresis es que si el operador sabe en qué posición final desea que esté el interruptor, puede alcanzarla, comenzando con un caudal de flujo muy lento e incrementándola gradualmente al nivel deseado, o comenzando con un caudal de flujo muy alto y disminuyéndola gradualmente al nivel deseado.

La Figura 19 es un dibujo esquemático que muestra un sistema de control del flujo de acuerdo con una forma de realización de la invención que tiene un sistema de control de la relación, sistema amplificador y sistema de resistencia dependiente de la vía, ejemplificativo para usar en el reemplazo del dispositivo de control del flujo de entrada. Los dispositivos de control de flujo de entrada (ICD), tales como, por ejemplo los disponibles en el comercio en Halliburton Energy Services, Inc., bajo la marca EquiFlow. El influjo desde el reservorio varía, algunas veces precipitándose a una penetración temprana y otras veces por lentificación a un retraso. Cada condición necesita regularse de modo que se puedan recuperar completamente las reservas valiosas. Algunos pozos experimentan un efecto "dedos-talón", diferencias de permeabilidad y problemas de agua, en especial en reservas de petróleo de alta viscosidad. Un ICD intenta equilibrar el flujo de entrada o producción a través de la

columna de terminación, mejora de la productividad, rendimiento y eficiencia, por la obtención del flujo constante a lo largo de cada intervalo de producción. Un ICD normalmente modera el flujo desde las zonas de productividad alta y estimula el flujo de las zonas de productividad más baja. Se instala un ICD típico y se combina con un tamiz de arena en un reservorio no consolidado. El fluido del reservorio corre desde la formación a través del tamiz de arena y en la cámara del flujo, donde continúa a través de uno o más tubos. Las longitudes del tubo y los diámetros internos se diseñan para inducir la caída de presión apropiada para mover el flujo a través de la cañería en un ritmo constante. El ICD nivela la caída de presión, lo que produce una terminación más completa y también la vida productiva como resultado de la conificación agua-gas retardada. También aumenta la producción por unidad de longitud.

El sistema de control del flujo de la Figura 19 es similar al de las Figuras 5, 10 y 12 y por eso no se comentará en detalle. El sistema de control del flujo mostrado en la Figura 19 es dependiente de la velocidad o dependiente del caudal de flujo. El sistema de control de la relación 1040 tiene el primer pasaje 1044 con el primer restrictor del flujo de fluido 1041 y un segundo pasaje de entrada 1046 con un segundo reductor de flujo 1043 en este. Un pasaje principal 1047 también se puede utilizar y también puede tener una restricción de flujo 1048. Las restricciones en los pasajes se diseñan para producir diferentes caídas de presión a través de las restricciones a medida que el caudal de flujo del fluido cambia con el tiempo. El reductor de flujo del pasaje principal se puede seleccionar para proporcionar las mismas caídas de presión respecto de los mismos caudales de flujo como el restrictor en el primer o segundo pasaje.

La Figura 20 es un cuadro que indica la presión, P , versus caudal de flujo, Q , curvas para el primer pasaje 1044 (#1) y segundo pasaje 1046 (#2), cada uno con restrictores seleccionados. A una presión de conducción baja, la línea A,

habrá más flujo de fluido en el primer pasaje 1044 y proporcionalmente menos flujo de fluido en el segundo pasaje 1046. En consecuencia, el flujo de fluido que deja el sistema amplificador se desviará hacia la salida 1086 y en la cámara del vórtice 1052 a través de entrada radial 1056. El fluido no rotará sustancialmente en la cámara del vórtice y la válvula se abrirá, lo que le permite fluir sin impartir contrapresión sustancial. A una presión de conducción alta, tal como en la línea B, el flujo de fluido proporcionado a través del primer y segundo pasajes se invertirá y el fluido se dirigirá a la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial lo que crea una caída de presión relativamente grande, imparte contrapresión al fluido y cierra la válvula.

En una forma de realización preferida en que se busca limitar la producción a presiones de conducción más altas, el restrictor del pasaje principal con preferencia se selecciona para imitar el comportamiento del restrictor en el primer pasaje 1044. Cuando la restricción 1048 se comporta de una manera similar al restrictor 1041, la restricción 1048 permite que menos fluido fluya a las caídas de presión altas, de este modo se restringe el flujo de fluido a través del sistema.

Los reductores de flujo pueden ser orificios, tubos viscosos, diodos de vórtice, etc. Alternativamente, las restricciones se puede proporciona elementos de resorte o componentes sensibles a la presión conocidos en la técnica. En la forma de realización preferida, la restricción 1041 en el primer pasaje 1044 tiene "bigotes" flexibles que bloquean el flujo a una presión de conducción baja pero se inclinan fuera del camino a una caída de presión alta y permiten el flujo.

Este diseño para usar como un ICD proporciona mayor resistencia al flujo una vez que se alcanza un caudal de flujo especificado, lo que permite esencialmente que el diseñador para elegir la velocidad superior a través de la sección de la columna de tubería.

La Figura 21 muestra una forma de realización de un sistema de control del flujo de acuerdo con la invención que tiene

múltiples válvulas en serie, con un pasaje de flujo auxiliar y sistema de resistencia dependiente de la vía secundario.

Un primer sistema de válvula selector de fluido 1100 se dispone en serie con un segundo sistema de válvula fluídico 1102. El primer sistema de control del flujo 1100 es similar al descrito en la presente y no se describirá en detalle. La primera válvula del selector de fluido incluye un sistema de control de la relación de flujo 1140 con primer, segundo y principal pasajes 1144, 1146 y 1147, un sistema amplificador del fluido 1170, y un sistema de resistencia dependiente de la vía 1150, a saber, un sistema de resistencia dependiente de la vía con cámara del vórtice 1152 y salida 1158. El segundo sistema de válvula fluídica 1102 en la forma de realización preferida mostrada tiene un sistema de resistencia dependiente de la vía selectivo 1110, en este caso un sistema de resistencia dependiente de la vía. El sistema de resistencia dependiente de la vía 1110 tiene una entrada radial 1104 y entrada tangencial 1106 y salida 1108. Cuando un fluido que tiene características de viscosidad (o caudal de flujo) preferidas, para seleccionar, está fluyendo a través del sistema, luego el primer sistema de control del flujo se comportará de una manera abierta, que permite el flujo de fluido sin crear contrapresión sustancial, con el flujo que fluye a través del sistema de resistencia dependiente de la vía 1150 del primer sistema de válvula principalmente en forma radial. En consecuencia, se producirá una mínima caída de presión a través del primer sistema de válvula. Además, el fluido que sale del primer sistema de válvula y entra en el segundo sistema de válvula a través de la entrada radial 1104 creará un patrón de flujo sustancialmente radial en la cámara del vórtice 1112 del segundo sistema de válvula. También se producirá una mínima caída de presión a través del segundo sistema de válvula. Esta serie de dos etapas de los sistemas de válvulas del selector de fluido autónoma permite una tolerancia más flexible y una apertura de la salida más amplia en el sistema de resistencia dependiente de la vía 1150 del primer sistema

de válvula 1100.

La entrada 1104 recibe el fluido del pasaje auxiliar 1197 que se muestra fluidamente conectado a la misma fuente de fluido 1142 como el primer sistema de válvula autónoma 1100. Alternativamente, el pasaje auxiliar 1197 puede estar en comunicación fluida con una diferente fuente de fluido, tal como el fluido de una zona de producción separada a lo largo de una tubuladura de producción. Tal disposición puede permitir el caudal de flujo del fluido en una zona para controlar el flujo de fluido en una zona separada. En forma alternativa, el pasaje auxiliar puede ser fluido que fluye desde una perforación lateral mientras la fuente de fluido para el primer sistema de válvula 1100 se recibe desde una línea de flujo a la superficie. Otras disposiciones serán evidentes. Debe ser obvio que se puede usar el pasaje auxiliar como la entrada control y se pueden invertir las entradas del vórtice tangencial y radial. Se pueden emplear otras alternativas que se describen en otra parte en la presente, tal como adición o sustracción de los sistemas amplificadores, modificaciones del control de la relación de flujo, modificaciones y sustitutos del vórtice, etc.

La Figura 22 es un esquema de un sistema de cementación inversa 1200. La perforación 1202 se extiende en una formación subterránea 1204. Una columna de cementación 1206 se extiende en la perforación 1202, normalmente dentro de una tubería. La columna de cementación 1206 puede ser de cualquier clase conocida en la técnica o descubierta posteriormente capaz de suministrar cemento en la perforación en un procedimiento de cementación inversa. Durante la cementación inversa, el cemento 1208 se bombea en el anillo 1210 formado entre la pared de la perforación 1202 y la columna de cementación 1206. El cemento, cuyo flujo se indica con flechas 1208, se bombea en el anillo 1210 a una localización en boca de pozo y hacia abajo a través del anillo hacia la parte inferior de la perforación. El anillo en consecuencia se llena desde arriba hacia abajo. Durante el procedimiento, el flujo del cemento y el fluido de bombeo

1208, normalmente agua o salmuera, circulan hacia abajo del anillo a la parte inferior de la columna de cementación, y luego de nuevo hacia fuera a través del pasaje interior 1218 de la columna.

La Figura 22 muestra un sistema de control del flujo 25 montado en o cerca del fondo de la columna de cemento 1206 y permitir selectivamente el flujo de fluido desde afuera de la columna de cementación en el pasaje interior 1218 de la columna de cemento. El sistema de control del flujo 25 es de un diseño similar al explicado en la presente en relación con la Figura 3, Figura 5, Figura 10 o Figura 12. El sistema de control del flujo 25 incluye un sistema de control de la relación 40 y un sistema de resistencia dependiente de la vía 50. Con preferencia el sistema 25 incluye al menos un sistema amplificador del fluido 70. El tapón 1222 sella el flujo excepto a través de la válvula del selector de fluido autónomo.

El sistema de control del flujo 25 se diseña estar abierta, el fluido se dirige principalmente a través de la entrada radial del sistema de resistencia dependiente de la vía 50, cuando un fluido de viscosidad menor, tal como fluido de bombeo, tal como salmuera, está fluyendo a través del sistema 25. A medida que la viscosidad del fluido cambia, el cemento desciende a la parte inferior del pozo y el cemento comienza a fluir a través del sistema de control del flujo 25, el sistema selector se cierra, dirigiendo el fluido de ahora mayor viscosidad (cemento) a través de la entrada tangencial del sistema de resistencia dependiente de la vía 50. La salmuera y el agua fluyen fácilmente a través del sistema selector ya que la válvula se abre cuando tales fluidos están fluyendo a través del sistema. El cemento de mayor viscosidad (u otro fluido no seleccionado) causará que la válvula se cierre y aumente de modo mensurable la presión leída en la superficie.

En una forma de realización alternativa, se emplean múltiples sistemas de control del flujo en paralelo. Además, si bien la forma de realización preferida tiene el total del fluido

dirigido a través de un sistema de control del flujo único, un flujo parcial desde el exterior de la columna de cemento se puede dirigir a través del fluido selector.

Para el aumento de la presión añadida, el tapón 1222 se puede montar en un mecanismo sellador o de cierre que sella el extremo de la columna de cemento cuando el flujo de cemento aumenta la caída de presión a través del tapón. Por ejemplo, el sistema o sistemas de control del flujo se puede montar en un mecanismo de cierre o sellado, tal como un sistema de pistón-cilindro, válvula de charnela, válvula de escape o similares en que el aumento de presión cierra los componentes del mecanismo. Como anteriormente, la válvula del selector se abre cuando el fluido es de una viscosidad seleccionada, tal como salmuera, y se produce poca caída de presión a través del tapón. Cuando el mecanismo de cierre está inicialmente en una posición abierta, el fluido fluye a través y más allá del mecanismo de cierre y hacia arriba a través del pasaje interior de la columna. Cuando el mecanismo de cierre se mueve a una posición cerrada, se impide que el fluido fluya en el pasaje interior desde el exterior de la columna. Cuando el mecanismo está en la posición cerrada, todo el fluido de bombeo o cemento se dirige a través del sistema de control del flujo 25.

Cuando el fluido cambia a una mayor viscosidad, se crea una mayor contrapresión sobre el fluido por debajo del sistema selector 25. Esta presión luego se transfiere al mecanismo de cierre. Este aumento de presión mueve el mecanismo de cierre a la posición cerrada. En consecuencia se impide que el cemento fluya en el pasaje interior de la columna de cemento. En otra alternativa, se puede emplear un sistema sensor de presión. Cuando el fluido se mueve a través del sistema amplificador del fluido cambia a una viscosidad mayor, debido a la presencia del cemento en el fluido, el sistema de control del flujo crea una mayor contrapresión sobre el fluido que se describió anteriormente. Este aumento de presión se mide por el sistema sensor de la presión y se lee en la superficie. El operador luego detiene el bombeo de

cemento sabiendo que el cemento ha llenado el anillo y alcanza el fondo de la columna de cemento.

La Figura 23 muestra una vista esquemática de una forma de realización preferida de la invención. Cabe mencionar que las dos entradas 54 y 56 a la cámara del vórtice 52 no están perfectamente alineadas para dirigir el flujo de fluido en forma perfectamente tangencial (es decir, exactamente 90 grados a una línea radial desde el centro del vórtice) ni perfectamente radial (es decir, directamente hacia el centro del vórtice), respectivamente. En cambio, las dos entradas 54 y 56 se dirigen en una vía de maximización de la rotación y una vía de minimización de rotación, respectivamente. En muchos aspectos, la Figura 23 es similar a la Figura 12 y por eso no se describirán en detalle aquí. Se usan números iguales a la Figura 12. La optimización de las disposiciones de las entradas del vórtice es una etapa que se puede llevar a cabo usando, por ejemplo, modelos de dinámica de flujo computacional.

Las Figuras 24A-D muestran otras formas de realización del sistema de la resistencia dependiente de la vía de la invención. La Figura 24A muestra un sistema de resistencia dependiente de la vía con solo un pasaje 1354 que entra la cámara del vórtice. El sistema de control del flujo 1340 cambia el ángulo de entrada del fluido a medida que entra en la cámara 1352 de este pasaje único. El flujo de fluido F a través de los pasajes controladores de la relación del fluido 1344 y 1346 causarán una dirección diferente del chorro de fluido en la salida 1380 del controlador de la relación del fluido 1340. El ángulo del chorro causará rotación minimizará la rotación en la cámara del vórtice 1350 por el fluido antes de que salga de la cámara en la salida 1358.

La Figura 24B-C es otra forma de realización del sistema de resistencia dependiente de la vía 1450, en que los dos pasajes de entrada ingresan en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial. Cuando el flujo se equilibra entre los pasajes 1454 y 1456, como se muestra en

la Figura 24B, el flujo resultante en la cámara del vórtice 1452 tiene rotación mínima antes de la salida 1458. Cuando el flujo hacia debajo de los pasajes es mayor que el flujo hacia debajo de los otros pasajes, como se muestra en la Figura 24C, el flujo resultante en la cámara del vórtice 1452 tendrá rotación sustancial antes de fluir a través de la salida 1458. La rotación en el flujo crea contrapresión en el fluido corriente arriba del sistema. Los rasgos superficiales, orientación de camino de salida y otros rasgos de la trayectoria del fluido se pueden usar para causar más resistencia al flujo en una dirección de rotación (tal como rotación en sentido contrario a las agujas del reloj) que en otra dirección de rotación (tal como rotación en sentido de las agujas del reloj).

En la Figura 24D, se usan múltiples trayectos tangenciales de entrada 1554 y múltiples trayectos radiales de entrada 1556 se usan para minimizar la interferencia del chorro de flujo a la entrada de la cámara del vórtice 1552 en el sistema de resistencia dependiente de la vía 1550. En consecuencia, el trayecto radial se puede dividir en múltiples trayectos de entrada radial dirigidos hacia la cámara del vórtice 1552. De modo similar, el trayecto tangencial se puede dividir en múltiples trayectos de entrada tangencial. El flujo de fluido resultante en la cámara del vórtice 1552 se determina al menos en parte por los ángulos de entrada de las múltiples entradas. El sistema se puede diseñar selectivamente para crear más o menos rotación del fluido alrededor de la cámara 1552 antes de salir a través de la salida 1558.

Cabe mencionar que en los sistemas de control del flujo de fluido descritos en la presente, el flujo de fluido en los sistemas se divide y fusiona en varias corrientes de flujo, pero este fluido no se separa en sus componentes constituyentes; es decir, los sistemas de control del flujo no son separadores de fluido.

Por ejemplo, cuando el fluido es principalmente gas natural, la relación de flujo entre el primer y segundo pasajes puede alcanzar 2:1 debido a que el primer pasaje proporciona

relativamente poca resistencia al flujo del gas natural. La relación de flujo se reducirá, o incluso invertirá, a medida que cambian las cantidades proporcionales de los componentes del fluido. Los mismos pasajes pueden producir una relación de flujo 1:1 o incluso una 1:2 donde el fluido es principalmente petróleo. Cuando el fluido tiene componentes petróleo y gas natural, la relación caerá en alguna parte intermedia. A medida que cambia la proporción de los componentes del fluido durante la vida del pozo, cambiará la relación de flujo a través del sistema de control de la relación. De modo similar, la relación cambiará si el fluido tiene componentes de agua y petróleo sobre la base de la característica relativa de los componentes de agua y petróleo. En consecuencia, el sistema de control de la relación de fluido se puede diseñar para producir la relación de flujo de fluido deseado.

El sistema de control del flujo se dispone para dirigir el flujo de fluido que tiene una mayor proporción del componente no deseado, tal como gas natural o agua, en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial, de este modo se crea una mayor contrapresión sobre el fluido que si se permitiera fluir corriente arriba sin pasar a través de la cámara del vórtice. Esta contrapresión producirá una tasa de producción más baja del fluido de la formación a lo largo del intervalo de producción que la que ocurriría de otro modo.

Por ejemplo, en un pozo de petróleo, la producción de gas natural es no deseada. A medida que aumenta la proporción de gas natural en el fluido, de este modo se reduce la viscosidad del fluido, una mayor proporción de fluido se dirige en la cámara del vórtice a través de la entrada tangencial. La cámara del vórtice imparte una contrapresión en el fluido de este modo se restringe el flujo del fluido. A medida que la proporción de los componente del fluido que están produciendo cambia a una mayor proporción de petróleo (por ejemplo, como resultado del petróleo en la formación que revierte una reducción del gas), la viscosidad del fluido aumentará. El sistema de relación del fluido, en respuesta al

cambio de característica, reducirá o revertirá la relación de flujo de fluido a través de su primer y segundo pasajes. Como resultado, una mayor proporción del fluido se dirigirá principalmente en forma radial en la cámara del vórtice. La cámara del vórtice ofrece menos resistencia y crea menos contrapresión en el fluido que entra en la cámara principalmente en forma radial.

El ejemplo anterior se refiere a restringir la producción de gas natural cuando se desea la producción de petróleo. La invención también se puede aplicar para restringir la producción de agua cuando se desea la producción de petróleo, o para restringir la producción de agua cuando se desea la producción de gas.

El sistema de control del flujo ofrece la ventaja de operar autónomamente en el pozo. Además, el sistema no tiene partes móviles y en consecuencia no susceptible a quedar "atascado" como los sistemas de control del fluido con válvulas mecánicas y similares. Además, el sistema de control del flujo operará independientemente de la orientación del sistema en la perforación, de modo que la tubuladura que contiene el sistema no necesita ser orientado en la perforación. El sistema operará en una perforación vertical o desviada.

Si bien el sistema de control del flujo preferido es completamente autónomo, ni el sistema de control de la dirección del flujo de la invención ni el sistema de resistencia dependiente de la vía de la invención necesariamente deben combinarse con la forma de realización preferida de la otra. Por eso un sistema o el otro puede tener partes móviles, o controles electrónicos, etc.

Por ejemplo, si bien el sistema de resistencia dependiente de la vía con preferencia se basa en una cámara del vórtice, se puede diseñar y construir para tener porciones móviles, para actuar con el sistema de control de la relación. Es decir, dos salidas del sistema de control de la relación se pueden conectar en un lado de un pistón equilibrado por presión, de este modo causa que el pistón pueda cambiar de una posición a

otra. Una posición, por ejemplo, puede cubrir un puerto de salida y una posición puede abrirlo. En consecuencia, el sistema de control de la relación no debe tener un sistema basado en el vórtice para permitir disfrutar el beneficio del sistema de control de la relación de la invención. De modo similar, el sistema de resistencia dependiente de la vía de la invención se puede utilizar con un sistema de accionamiento más tradicional, que incluye sensores y válvulas. Los sistemas de la invención también pueden incluir los subsistemas de producción de datos, para enviar datos a la superficie, para permitir que los operadores observen el estado del sistema.

La invención también se puede usar con otros sistemas de control del flujo, tales como dispositivos de control del flujo de entrada, manguitos deslizantes, y otros dispositivos de control del flujo que ya son bien conocidos en la industria. El sistema de la invención puede ser paralelo o en serie con estos otros sistemas de control del flujo.

Si bien esta invención se ha descrito con referencia a las formas de realización ilustrativas, esta descripción no se debe interpretar en un sentido limitado. Varias modificaciones y combinaciones de las formas de realización ilustrativas así como otras formas de realización de la invención, serán evidentes para los expertos en la técnica con referencia a la descripción. En consecuencia, se considera que las reivindicaciones anexas abarcan cualquiera de estas modificaciones o formas de realización.

Reivindicaciones

1. Un aparato para controlar el flujo del fluido que comprende:

un sistema de control de la relación de flujo que tiene al menos un primer pasaje y un segundo pasaje, donde la relación del flujo de fluido a través del primer pasaje y segundo pasaje se relaciona con la característica del flujo de fluido y donde la relación de flujo entre los dos pasajes se alterará con los cambios en la característica del flujo de fluido, y donde el producto del sistema de control de la relación de flujo se utiliza para controlar una vía dependiente del sistema de resistencia.

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, donde la característica es la viscosidad.

3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, donde la característica es la velocidad de flujo del fluido.

4. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, donde la característica es densidad.

5. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido es más dependiente de la viscosidad que el segundo pasaje.

6. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido tiene un diámetro constante a lo largo de su extensión.

7. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 6 donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo proporcionará más resistencia al flujo de fluido a medida que aumenta la viscosidad del fluido.

8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 6 donde el

primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido es más largo que el segundo pasaje del sistema de control de la relación de fluido.

9. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el primer pasaje proporciona una trayectoria de flujo sinuoso.

10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el primer pasaje tiene una superficie interior texturada.

11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el primer pasaje está hecho de un material hinchable, el pasaje se estrecha cuando el material se hincha.

12. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el material hinchable se hincha cuando se pone en contacto con el fluido cuando un componente no deseado está presente en el fluido.

13. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menor resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando la viscosidad del fluido es más alta que una viscosidad blanco.

14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el aumento de la resistencia al flujo de fluido en el segundo pasaje en respuesta a un aumento en la viscosidad del fluido es menor que el aumento de la resistencia al flujo de fluido en el primer pasaje.

15. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5 donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporciona resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido independientemente de los cambios en la viscosidad del fluido.

16. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 15 donde el segundo pasaje tiene una pluralidad de reductores de flujo en el mismo.

17. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 16 donde los reductores de flujo son placas de orificio.

18. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 14 donde el segundo pasaje también comprende un diodo del vórtice,

19. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía impartirá una contrapresión sobre el fluido que fluye a través del aparato.

20. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 donde el sistema de resistencia dependiente de la vía también comprende un ensamblaje del vórtice.

21. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 20 donde el ensamblaje del vórtice comprende una primera y segunda entrada, una cámara del vórtice y una salida.

22. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 21 donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo y donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de flujo.

23. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 21 donde el ensamblaje del vórtice también comprende al menos una segunda salida.

24. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 22 donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial.

25. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 22 donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

26. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 24 donde la primera entrada dirige el fluido en la cámara del vórtice en un ángulo sustancialmente normal a una línea radial que se extiende desde la salida del vórtice.

27. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 25 donde la segunda entrada dirige el fluido en la cámara del vórtice sustancialmente en línea con la salida del vórtice.

28. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 20 donde el ensamblaje del vórtice comprende una cámara del vórtice, al menos una salida y múltiples entradas que dirigen el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial.

29. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 28 donde el ensamblaje del vórtice también comprende múltiples entradas que dirige el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

30. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 20 donde el sistema de resistencia dependiente de la vía comprende al menos dos ensamblajes del vórtice conectados en paralelo.

31. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 30 donde el sistema de resistencia dependiente de la vía comprende al menos dos ensamblajes del vórtice conectados en serie.

32. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 31 donde el sistema de resistencia dependiente de la vía comprende un primer y segundo ensamblaje del vórtice, cada ensamblaje del vórtice que tiene una cámara del vórtice, una primera y segunda entradas y una salida, la primera entrada del segundo

ensamblaje del vórtice en comunicación fluida con la salida del primer ensamblaje del vórtice.

33. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 32 donde la primera entrada del segundo ensamblaje del vórtice dirige el fluido en la cámara del vórtice del segundo ensamblaje del vórtice principalmente en forma radial.

34. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 20 donde el ensamblaje del vórtice comprende un ensamblaje del vórtice cilíndrico.

35. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 que además comprende un sistema amplificador del fluido interpuesto entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía y en comunicación fluida con ambos.

36. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 35 donde el sistema amplificador del fluido comprende un amplificador proporcional.

37. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 35 donde el sistema amplificador del fluido comprende un amplificador tipo de presión.

38. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 35 donde el sistema amplificador del fluido comprende un amplificador tipo chorro.

39. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 35 donde el sistema amplificador del fluido comprende un amplificador biestable.

40. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 35 donde el sistema de relación del fluido también comprende un pasaje de flujo principal, el pasaje de flujo principal en comunicación

fluida con el sistema amplificador del fluido.

41. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 40 donde el pasaje principal también comprende un diodo del vórtice.

42. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 40 donde el pasaje principal contendrá más flujo de fluido que el primer o segundo pasajes.

43. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 40 donde el pasaje principal contendrá más flujo que el primer y segundo pasajes combinados.

44. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 40 donde el primer y segundo pasajes del sistema de control de la relación de flujo dirigirán el flujo desde el pasaje principal.

45. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 que además comprende múltiples sistemas amplificadores del fluido interpuestos entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía, los sistemas amplificadores del fluido dispuestos en serie.

46. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 45 donde los múltiples sistemas amplificadores del fluido comprenden al menos un amplificador proporcional y al menos un amplificador biestable.

47. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 45 donde los múltiples sistemas amplificadores del fluido comprenden al menos un amplificador tipo a presión y al menos un amplificador biestable.

48. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido proporcionará menos resistencia que el segundo pasaje al

flujo de fluido a medida que aumenta el caudal de flujo.

49. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el segundo pasaje del sistema de control de la relación de fluido proporcionará más resistencia que el primer pasaje al flujo de fluido a medida que aumenta el caudal de flujo.

50. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el sistema de control de la relación de flujo comprende un interruptor biestable.

51. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando el caudal de flujo del fluido es menor que un caudal de flujo blanco.

52. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporciona resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido independiente de los cambios del caudal de flujo de fluido.

53. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía también comprende un ensamblaje del vórtice que tiene una primera y segunda entrada, una cámara del vórtice y una salida.

54. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 53, donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo y donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de flujo.

55. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 54, donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido

en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial, y donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

56. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, que además comprende un sistema amplificador del fluido interpuesto entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía y en comunicación fluida con ambos.

57. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 56 donde el sistema de relación del fluido también comprende un pasaje de flujo principal, el pasaje de flujo principal en comunicación fluida con el sistema amplificador del fluido.

58. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, donde el primer pasaje del control de la relación del fluido es más dependiente de la densidad que el segundo pasaje.

59. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 58, donde el segundo pasaje proporcionará resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido a medida que cambia la densidad.

60. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 58, donde el segundo pasaje proporcionará menos resistencia al flujo de fluido a medida que aumenta el caudal de flujo.

61. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando la densidad de fluido es más alta que una densidad blanco.

62. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 68, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía también comprende un ensamblaje del vórtice que tiene una primera y

segunda entrada, una cámara del vórtice y una salida.

63. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 62, donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo y donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de flujo.

64. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 63, donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial, y donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

65. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 58, que además comprende un sistema amplificador del fluido interpuesto entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía y en comunicación fluida con ambo.

66. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 65 donde el sistema de relación del fluido también comprende un pasaje de flujo principal, el pasaje de flujo principal en comunicación fluida con el sistema amplificador del fluido.

67. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 donde el aparato es una tubuladura del yacimiento para ubicar en el fondo del pozo en una perforación que extiende a través de una formación subterránea.

68. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 67, donde el sistema de control del flujo se ubica en la pared de la tubuladura del yacimiento.

69. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 68, donde la tubuladura del yacimiento tiene un pasaje interior en comunicación fluida con el sistema de control de la relación de flujo.

70. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 69, donde fluido de la formación fluiría desde la formación en el pasaje interior tubular.

71. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 69, donde el aparato es para controlar la producción del flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de gas natural.

72. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 69, donde el aparato es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de gas natural respecto de la producción de agua.

73. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 69, donde el aparato es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de agua.

74. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 71, donde el aparato proporcionará mayor resistencia al flujo a medida que cambia la composición del fluido de la formación a un mayor porcentaje del gas natural.

75. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5, donde el sistema de control del flujo se ubica en una tubuladura del yacimiento, y donde el aparato es para controlar la producción flujo de fluido, y donde el aparato aumentará la resistencia al flujo de fluido cuando el fluido de la formación alcanza una composición de porcentaje blanco del gas natural.

76. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 48, donde el sistema de control del flujo se ubica en una tubuladura del yacimiento, y donde el aparato es para controlar la producción flujo de fluido, y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de gas natural.

77. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 58, donde el sistema de control del flujo se ubica en una tubuladura del yacimiento, y donde el aparato es para controlar la producción flujo de fluido, y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de gas natural.

78. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 68, que además comprende una pluralidad de los sistemas de control de la relación de flujo y sistemas de resistencia dependiente de la vía.

79. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 48, donde el sistema de control del flujo se ubica en una tubuladura del yacimiento, y donde el aparato es para controlar la producción flujo de fluido, y donde el aparato proporcionará aumento de resistencia al flujo cuando el caudal de flujo está por encima de un caudal de flujo blanco.

80. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 67, el aparato para inyectar el fluido de inyección desde la tubuladura del yacimiento en la formación.

81. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 80, donde el aparato es para controlar la inyección del fluido de inyección en la formación.

82. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 81, donde el fluido de inyección es vapor.

83. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 81, donde el fluido de inyección es dióxido de carbono.

84. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 82, donde el aparato selecciona la inyección del vapor respecto de la inyección de agua.

85. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 84, donde el aparato proporcionará menor resistencia al flujo a medida que la composición del fluido de inyección cambia a un porcentaje más alto del vapor.

86. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5, donde el aparato es una tubuladura del yacimiento para ubicarse en el fondo del pozo de una perforación que se extiende a través de una formación subterránea, y donde el aparato es para controlar el flujo del fluido, y donde el aparato disminuirá la resistencia al flujo del fluido de inyección cuando el fluido de inyección alcanza una composición de porcentaje blanco del vapor.

87. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 48, donde el aparato es una tubuladura del yacimiento para ubicar en el fondo del pozo en una perforación que se extiende a través de una formación subterránea, y donde el aparato es para controlar el flujo del fluido de inyección, y donde el aparato disminuirá la resistencia al flujo del fluido de inyección cuando el fluido de inyección cae debajo de un caudal de flujo blanco.

88. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 58, donde el aparato es una tubuladura del yacimiento para ubicar en el fondo del pozo de una perforación que se extiende a través de una formación subterránea, y donde el aparato es para controlar el flujo del fluido de inyección, y donde el aparato disminuirá la resistencia al flujo del fluido de inyección cuando la densidad del fluido de inyección cae por

debajo de una densidad blanco.

89. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 67, donde el aparato es para controlar el flujo del fluido de cementación desde el exterior de la tubuladura del yacimiento al interior de la tubuladura del yacimiento durante cementación inversa.

90. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 89, donde el aparato proporcionará mayor resistencia al flujo del fluido de cementación a medida que la composición del fluido de cementación cambia a mayor viscosidad.

91. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 89, donde el aparato proporcionará mayor resistencia al flujo del fluido de cementación a medida que la composición del fluido de cementación cambia a mayor densidad.

92. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 89, donde el aparato proporcionará mayor resistencia al flujo del fluido de cementación a medida que la composición del fluido de cementación cambia a un caudal de flujo mayor.

93. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 89, que además comprende un tampón móvil montado en un pasaje interior de la tubuladura del yacimiento y que puede operara para restringir el flujo de fluido en el pasaje interior.

94. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 97, donde el sistema de control de la relación de flujo y el sistema de resistencia dependiente de la vía se ubican dentro del tampón móvil.

95. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 71, que además comprende un ensamblaje de tamiz para el control de la arena.

96. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 71, que

además comprende un dispositivo de control del flujo de entrada en comunicación fluida con el sistema de control de la relación de flujo.

97. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 71, que además comprende una pluralidad de aparatos espaciados a lo largo del pozo.

98. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 97, donde la pluralidad de aparatos se ubica en una columna de producción, la cadena producción para extenderse a través del pozo a lo largo de una zona de producción de la formación.

99. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el primer pasaje proporcionará una mayor tasa de aumento de la resistencia en respuesta al aumento del caudal de flujo que el segundo pasaje.

100. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, donde el segundo pasaje proporcionará una menor tasa de aumento de la resistencia en respuesta al aumento del caudal de flujo que el primer pasaje.

101. Un sistema de resistencia dependiente de la vía, que comprende:

una cámara del vórtice;

al menos una primera entrada; y

una salida, la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía en comunicación fluida con un sistema de control de la dirección del flujo, el flujo del sistema de control de la dirección del flujo que afecta la dirección del flujo entra en el sistema de resistencia dependiente de la vía.

102. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde el flujo del fluido de dirección entra en el sistema de resistencia dependiente de la vía es dependiente de la

viscosidad del fluido.

103. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde el flujo del fluido de dirección entra en el sistema de resistencia dependiente de la vía es dependiente de del caudal de flujo del fluido.

104. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde el flujo del fluido de dirección entra en el sistema de resistencia dependiente de la vía es dependiente de la densidad del fluido.

105. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 102, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía comprende una primera y segunda entrada.

106. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101 donde el ensamblaje del vórtice también comprende al menos una segunda salida.

107. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 105 donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial.

108. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 105 donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

109. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101 donde la al menos una entrada comprende múltiples entradas que dirigen el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial.

110. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101 donde la al menos una entrada comprende múltiples entradas que dirigen el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

111. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101 donde la al menos una entrada comprende al menos una entrada para dirigir el fluido dentro de la cámara del vórtice principalmente en forma radial y al menos una entrada para dirigir el fluido dentro de la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial.

112. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, que además comprende una segunda cámara del vórtice, segunda cámara del vórtice salida y segunda entrada de la cámara del vórtice, la segunda entrada de la cámara del vórtice en comunicación fluida con el sistema de resistencia dependiente de la vía salida.

113. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 112 donde la entrada del segundo ensamblaje del vórtice dirige el fluido en la cámara del vórtice del segundo ensamblaje del vórtice principalmente en forma radial.

114. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 112, que además comprende una segunda entrada a la segunda cámara del vórtice.

115. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101 donde la cámara del vórtice comprende una cámara del vórtice cilíndrica.

116. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde el sistema de control de la dirección del flujo comprende múltiples pasajes.

117. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 116, donde los múltiples pasajes están en comunicación fluida con el sistema de resistencia dependiente del entrada del pasaje.

118. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde

el sistema de control de la dirección del flujo comprende un sistema de control de la relación de flujo que tiene al menos un primer y segundo pasaje.

119. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 118, donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido es más dependiente de la viscosidad que el segundo pasaje.

120. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 119 donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo proporcionará un mayor aumento de la resistencia al flujo de fluido que el segundo pasaje a medida que aumenta la viscosidad del fluido.

121. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 119 donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando la viscosidad del fluido es más alta que una viscosidad.

122. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 119 donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporciona resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido independientemente de los cambios en la viscosidad del fluido.

123. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 119 donde el segundo pasaje también comprende un diodo del vórtice.

124. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía impartirá una contrapresión sobre el flujo que fluye a través del aparato.

125. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 118, donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo está en comunicación fluida con la primera entrada del

sistema de resistencia dependiente de la vía.

126. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 125, donde el segundo pasaje del sistema de control de la relación de flujo está en comunicación fluida con una segunda entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía.

127. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 125, donde el primer y segundo pasajes del sistema de control de la relación de flujo son ambos en comunicación fluida con la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía.

128. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 103, donde el fluido fluirá en la cámara del vórtice principalmente en forma radial cuando el caudal de flujo del fluido esté por debajo de un caudal blanco.

129. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 128, donde el fluido fluirá en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial cuando el caudal de flujo del fluido esté por encima de un caudal blanco.

130. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 129, donde el fluido continuará fluyendo en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial cuando el caudal de flujo del fluido aumenta por encima de un caudal blanco y luego disminuye por debajo del caudal blanco

131. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 103, donde el sistema de control de la dirección del flujo comprende un sistema de la relación del flujo que tiene al menos un primer y segundo pasaje.

132. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 131, donde el sistema de la relación del flujo comprende un interruptor biestable.

133. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 131, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando el caudal de flujo del fluido es menor que un caudal de flujo blanco.

134. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 131, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporciona resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido independientemente de los cambios en el caudal de flujo del fluido.

135. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 131, donde la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía está en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo.

136. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 135, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía tiene una segunda entrada y la segunda entrada está en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de flujo.

137. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 131, que además comprende un sistema amplificador del fluido interpuesto entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía y en comunicación fluida con ambos.

138. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 137, donde el sistema de relación del fluido también comprende a pasaje de flujo principal, el pasaje de flujo principal en comunicación fluida con el sistema amplificador del fluido.

139. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 104, donde el fluido fluirá en la cámara del vórtice principalmente en

forma radial cuando la densidad del fluido es por encima de un caudal blanco.

140. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 139, donde el fluido fluirá en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial cuando la densidad del fluido está por debajo de un caudal blanco.

141. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 104, donde el sistema de control de la dirección del flujo comprende un sistema de la relación del flujo que tiene al menos un primer y segundo pasaje.

142. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 141, donde el primer pasaje del control de la relación del fluido es más dependiente de la densidad que el segundo pasaje.

143. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 141, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos de un aumento de resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando aumenta la densidad del fluido.

144. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 101, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía se ubica en una tubuladura del yacimiento para ubicarse en el fondo del pozo de una perforación que se extiende a través de una formación subterránea.

145. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 144, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de gas natural respecto de la producción de agua.

146. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 144, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía es para

controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de agua.

147. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 144, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de gas natural.

148. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 144, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía para controlar la inyección del fluido de inyección en la formación.

149. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 148, donde el fluido de inyección es vapor.

150. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 149, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía selecciona inyección de vapor respecto de la inyección de agua.

151. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 150, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía proporcionará menor resistencia al flujo a medida que la composición del fluido de inyección cambia a un porcentaje más alto de vapor.

152. Un sistema de control del flujo, que comprende:

un sistema de control de la relación de flujo que tiene al menos un primer pasaje y un segundo pasaje, donde la relación de flujo de fluido a través del primer pasaje y segundo pasaje se relaciona con la característica del flujo de fluido; y

un sistema de resistencia dependiente de la vía que tiene una cámara del vórtice con al menos una primera entrada y una salida, la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía en comunicación fluida con el primer o

segundo pasaje o ambos del sistema de control de la relación de fluido, las variaciones en la relación de flujo provienen del primer y segundo pasaje que afecte la resistencia relativa del fluido total que se mueve a través del sistema de resistencia dependiente de la vía.

153. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152, donde la característica es viscosidad.

154. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152, donde la característica es caudal de flujo del fluido.

155. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152, donde la característica es la densidad.

156. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 153, donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido es más dependiente de la viscosidad que el segundo pasaje.

157. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 156 donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido tiene un diámetro constante a lo largo de su extensión.

158. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 156 donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo proporcionará un mayor aumento de la resistencia al flujo de fluido que el segundo pasaje a medida que aumenta la viscosidad del fluido.

159. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 153 donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menor resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando la viscosidad del fluido es más alta que una viscosidad blanco.

160. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 156 donde el

segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporciona resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido independientemente de los cambios en la viscosidad del fluido.

161. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 156 donde el segundo pasaje también comprende un diodo del vórtice.

162. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152, donde el sistema de resistencia dependiente de la vía impartirá una contrapresión sobre el flujo que fluye a través del aparato.

163. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de flujo y donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice está en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de flujo.

164. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 donde el ensamblaje del vórtice también comprende al menos una segunda salida.

165. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 donde la primera entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma tangencial.

166. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 165 donde la segunda entrada del ensamblaje del vórtice dirigirá el fluido en la cámara del vórtice principalmente en forma radial.

167. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 donde la cámara del vórtice comprende una cámara del vórtice cilíndrica.

168. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 que

además comprende a sistema amplificador del fluido interpuesto entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía y en comunicación fluida con ambos.

169. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 168 donde el sistema amplificador del fluido comprende un amplificador proporcional,

170. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 168 donde el sistema amplificador del fluido comprende un amplificador biestable.

171. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 168 donde el sistema de relación del fluido también comprende a pasaje de flujo principal, el pasaje de flujo principal en comunicación fluida con el sistema amplificador del fluido.

172. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 171 donde el primer y segundo pasajes del sistema de control de la relación de flujo dirigirá el flujo desde el pasaje principal.

173. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 que además comprende múltiples sistemas amplificadores del fluido interpuesto entre el sistema de relación del fluido y el sistema de resistencia dependiente de la vía, los sistemas amplificadores de fluido dispuestos en serie.

174. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 154, donde el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido proporcionará un menor aumento de resistencia que el segundo pasaje al flujo de fluido a medida que aumenta el caudal de flujo.

175. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 154, donde el sistema de control de la relación de flujo comprende a

interruptor biestable.

176. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 154, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando el caudal de flujo del fluido es más bajo que un caudal de flujo blanco..

177. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 154, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporciona resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido independientemente de los cambios en el caudal de flujo del fluido.

178. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 155, donde el primer pasaje del control de la relación del fluido es más dependiente de la densidad que el segundo pasaje.

179. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 178, donde el segundo pasaje proporcionará resistencia sustancialmente constante al flujo de fluido a medida que cambia la densidad.

180. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 154, donde el segundo pasaje del sistema de relación del fluido proporcionará menos resistencia al flujo de fluido que el primer pasaje cuando la densidad del fluido es más alta que una densidad blanco.

181. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 152 donde el sistema de control del flujo se ubica en una tubuladura del yacimiento para ubicar en el fondo del pozo en una perforación que se extiende a través de una formación subterránea.

182. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, donde la tubuladura del yacimiento tiene un pasaje interior en comunicación fluida con el sistema de control de la relación

de flujo.

183. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 182, donde fluido de la formación fluiría desde la formación en el pasaje interior tubular.

184. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, donde el sistema de control del flujo es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de gas natural.

185. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, donde el sistema de control del flujo es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de gas natural respecto de la producción de agua.

186. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, donde el sistema de control del flujo es para controlar la producción flujo de fluido y donde el aparato selecciona la producción de petróleo respecto de la producción de agua.

187. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 184, donde el sistema de control del flujo proporcionará mayor resistencia al flujo a medida que la composición del fluido de la formación cambia a un porcentaje más alto del gas natural.

188. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, que además comprende una pluralidad de sistemas de control del flujo.

189. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, el sistema de control del flujo para controlar la inyección del fluido de inyección desde la tubuladura del yacimiento en la formación.

190. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 189, donde el sistema de control del flujo selecciona inyección del vapor respecto de la inyección de agua.

191. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, donde el sistema de control del flujo es para controlar el flujo del fluido de cementación desde el exterior de la tubuladura del yacimiento al interior de la tubuladura del yacimiento durante la cementación inversa.

192. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 191, donde el sistema de control del flujo proporcionará mayor resistencia al flujo del fluido de cementación a medida que la composición del fluido de cementación cambia a una viscosidad más alta.

193. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 191, donde el sistema de control del flujo proporcionará mayor resistencia al flujo del fluido de cementación a medida que la composición del fluido de cementación cambia a una densidad más alta.

194. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 191, donde el sistema de control del flujo proporcionará mayor resistencia al flujo del fluido de cementación a medida que la composición del fluido de cementación cambia a un caudal de flujo más alto.

195. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 191, que además comprende un tapón móvil montado en un pasaje interior de la tubuladura del yacimiento y puede operar para restringir el flujo de fluido en el pasaje interior.

196. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 191, donde el sistema de control de la relación de flujo y sistema de resistencia dependiente de la vía se ubican dentro del tapón móvil.

101
102

197. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, que además comprende un ensamblaje de tamiz para el control de arena.

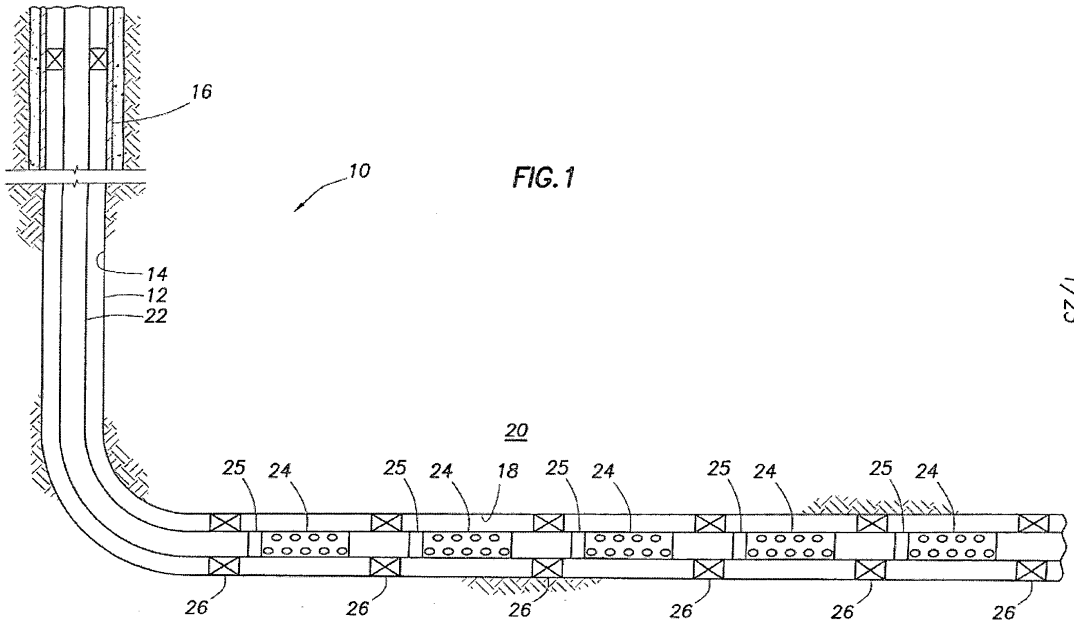
198. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, que además comprende un dispositivo de control del flujo de entrada en comunicación fluida con el sistema de control de la relación de flujo.

199. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 181, que además comprende una pluralidad de sistemas de control del flujo espaciados a lo largo de la perforación.

200. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 199, donde la pluralidad de sistemas de control del flujo se ubican en una columna de producción, la columna de producción para extenderse a través de la perforación a lo largo de una zona de producción.

Resumen

Se describe un aparato para controlar el flujo del fluido en una tubuladura ubicada en una perforación que se extiende a través de una formación subterránea. Un sistema de control del flujo se coloca en comunicación fluida con una tubuladura principal. El sistema de control del flujo tiene un sistema de control de la relación de flujo y un sistema de resistencia dependiente de la vía. El sistema de control de la relación de flujo tiene un primero y segundo pasaje, el fluido de producción que fluye en los pasajes con la relación de flujo de fluido a través de los pasajes relacionados con la característica del flujo de fluido. El sistema de resistencia dependiente de la vía incluye una cámara del vórtice con una primera y segunda entrada y una salida, la primera entrada del sistema de resistencia dependiente de la vía en comunicación fluida con el primer pasaje del sistema de control de la relación de fluido y la segunda entrada en comunicación fluida con el segundo pasaje del sistema de control de la relación de fluido. La primera entrada se ubica para dirigir el fluido en la cámara del vórtice de modo que fluya principalmente en forma tangencial en la cámara del vórtice, y la segunda entrada se ubica para dirigir el fluido de modo que fluya principalmente en forma radial en la cámara del vórtice. Los fluidos no deseados, tales como gas natural o agua, en un pozo de petróleo se dirigen, sobre la base de su característica relativa, en el vórtice principalmente en forma tangencial, de este modo se restringe el flujo de fluido cuando el fluido no deseado está presente como un componente del fluido de producción.



1/23

88

103
104

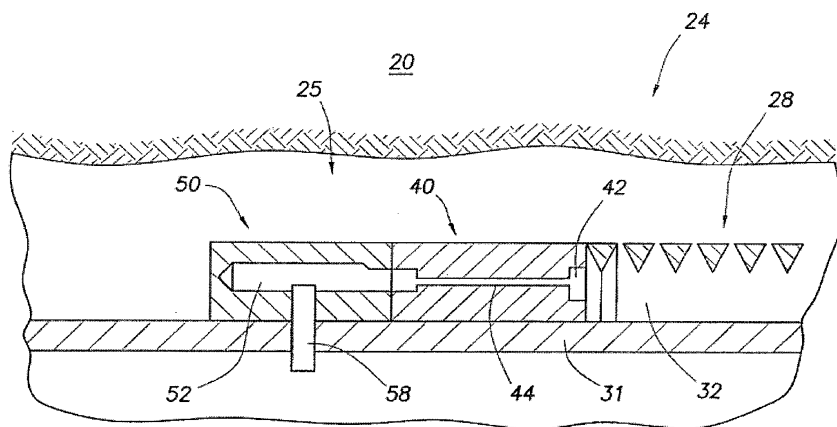


FIG.2

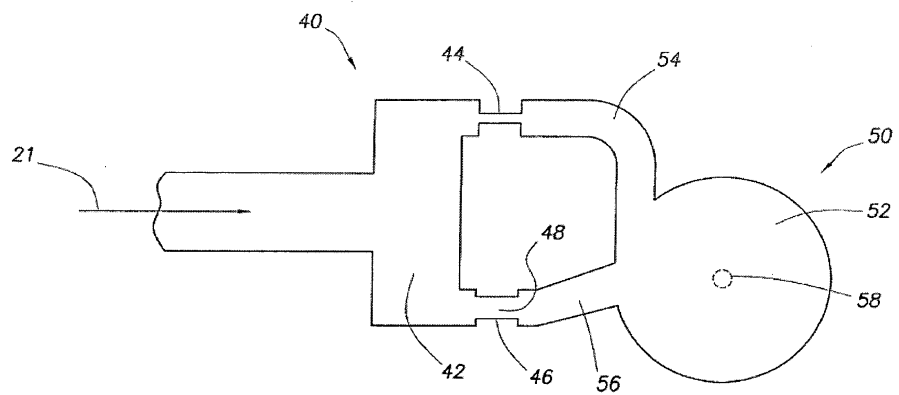


FIG.3

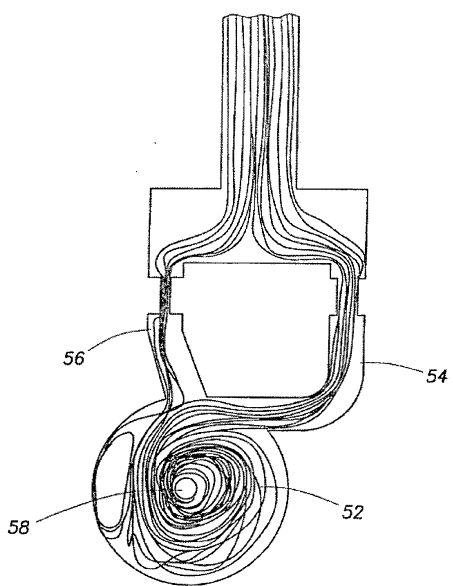


FIG. 4A

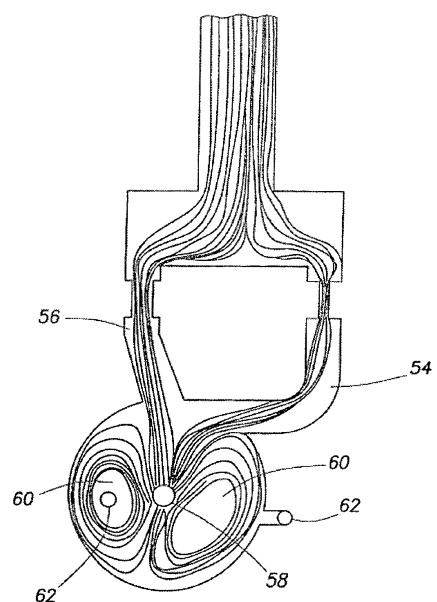


FIG. 4B

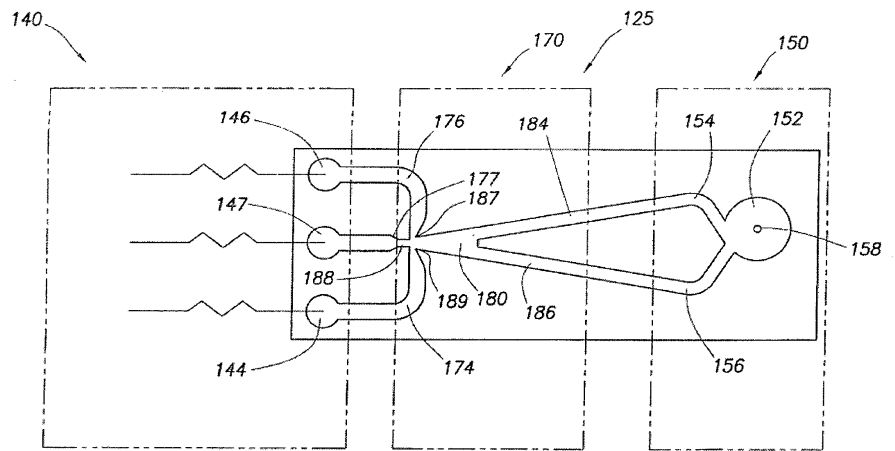


FIG.5

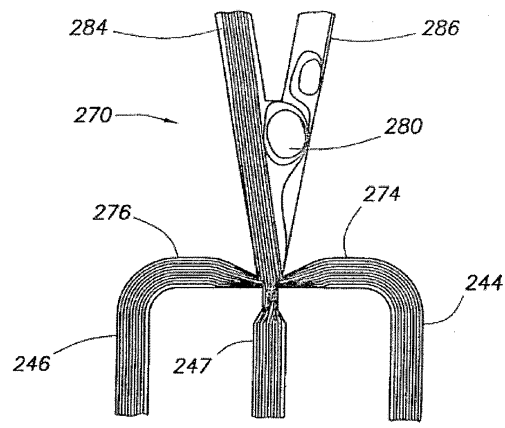


FIG. 6A

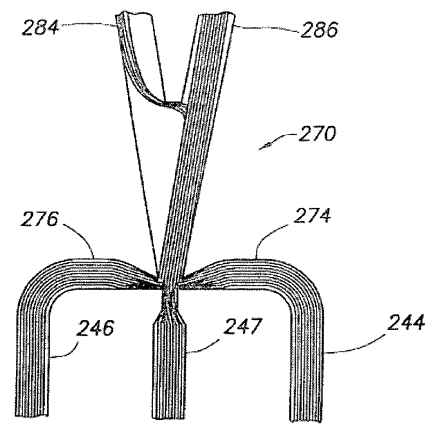


FIG. 6B

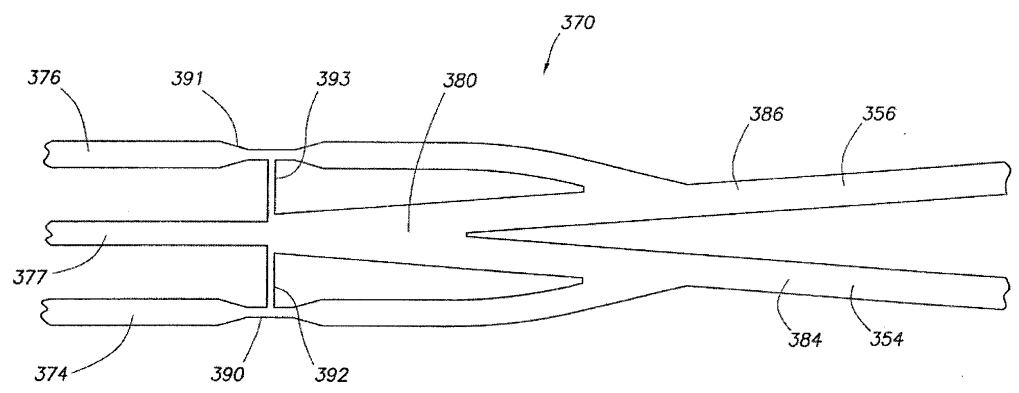


FIG. 7

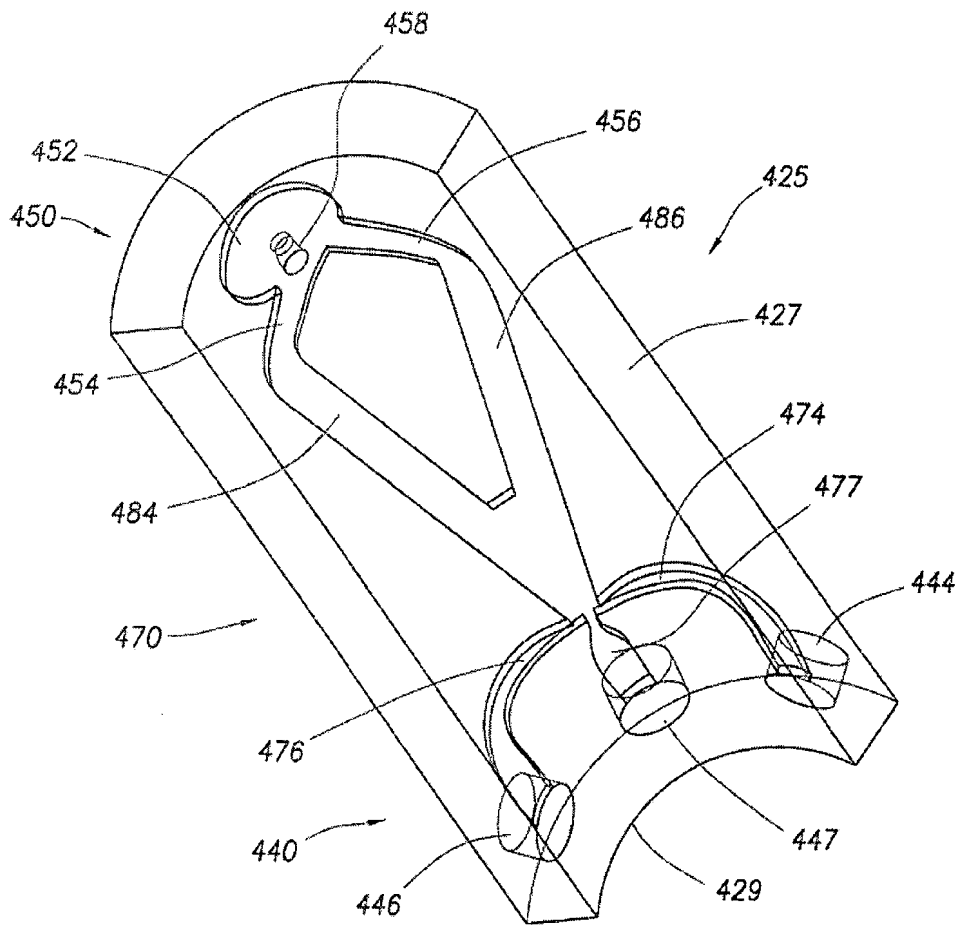


FIG. 8

Att
112

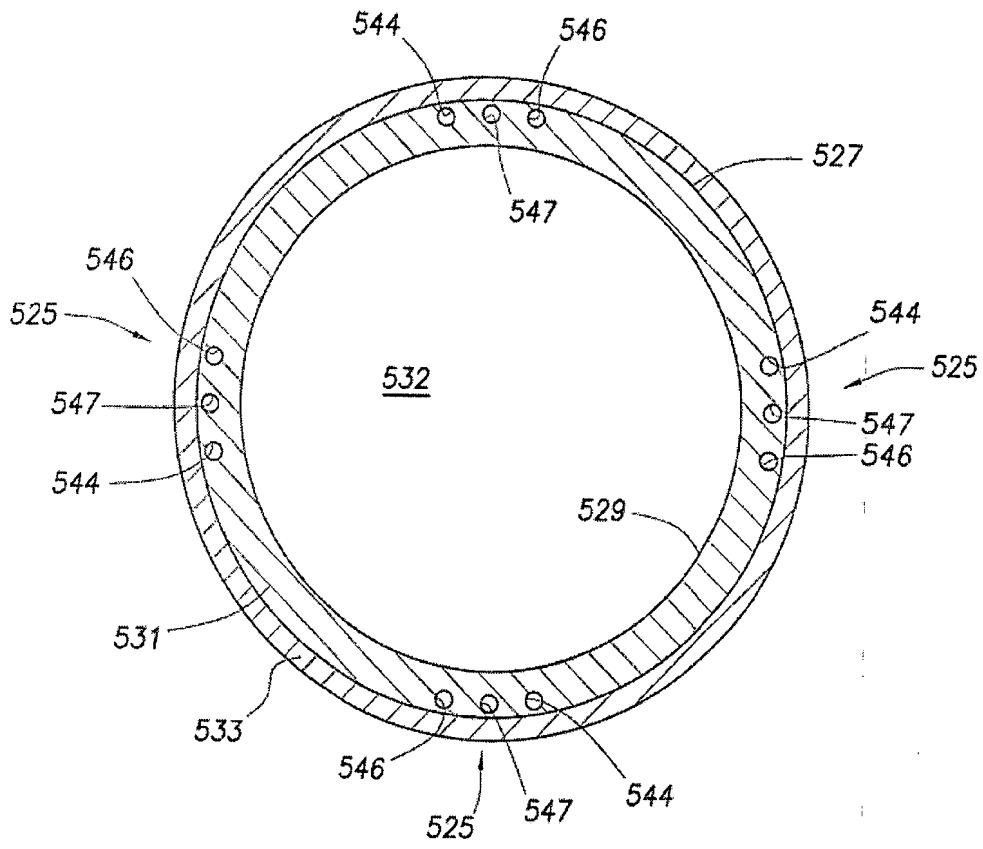
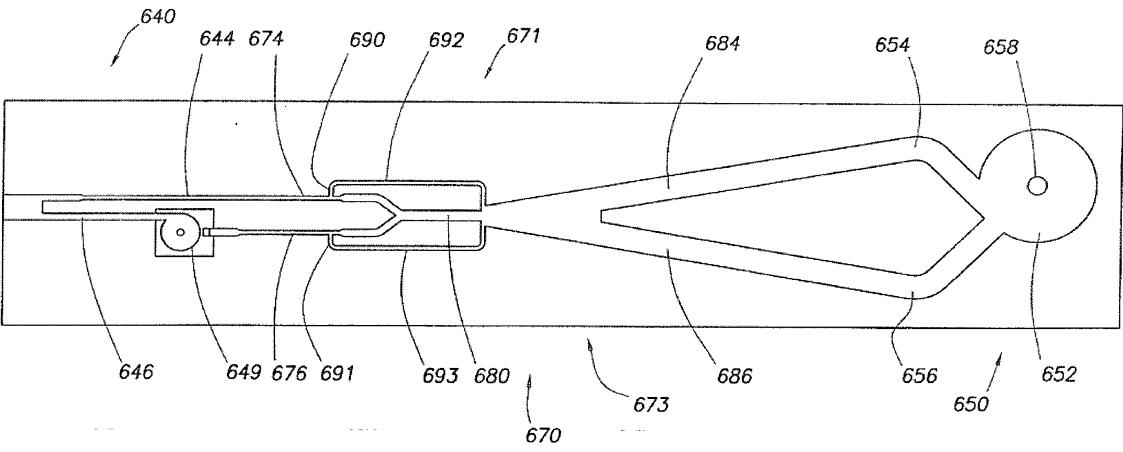
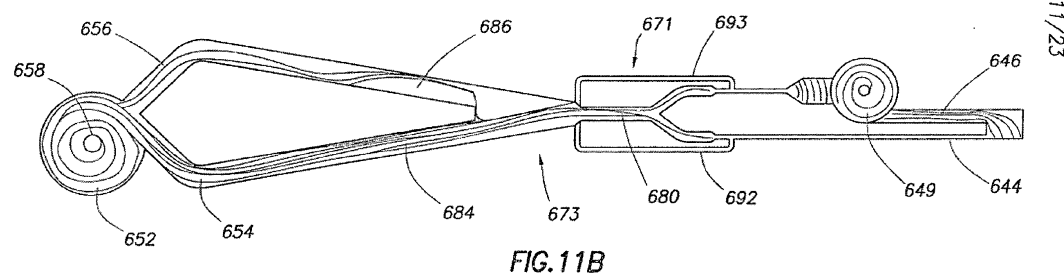
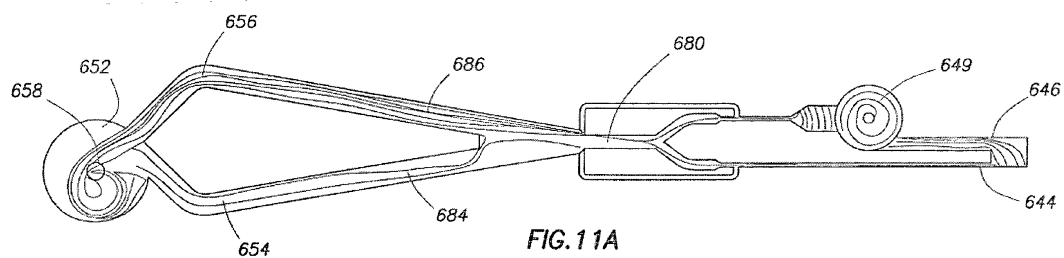


FIG. 9





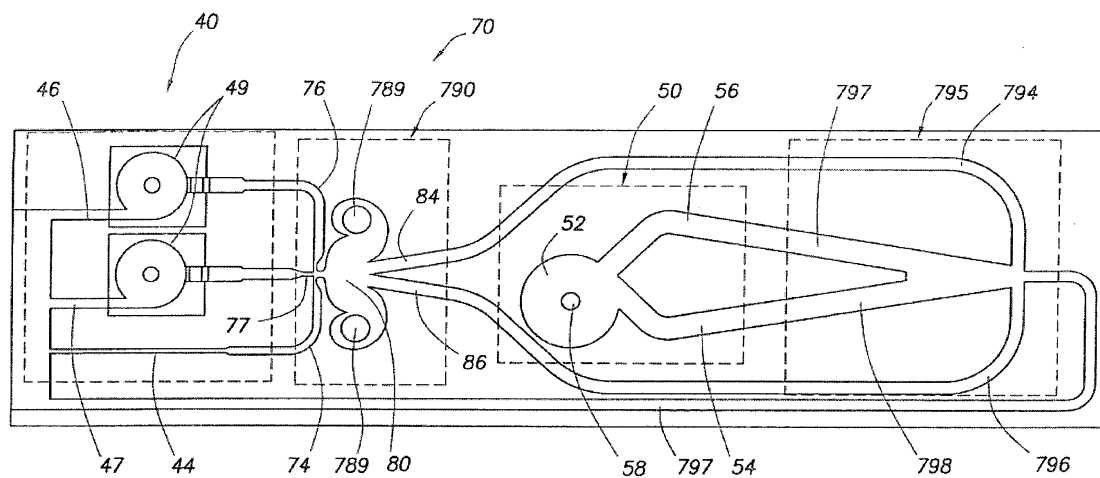


FIG. 12

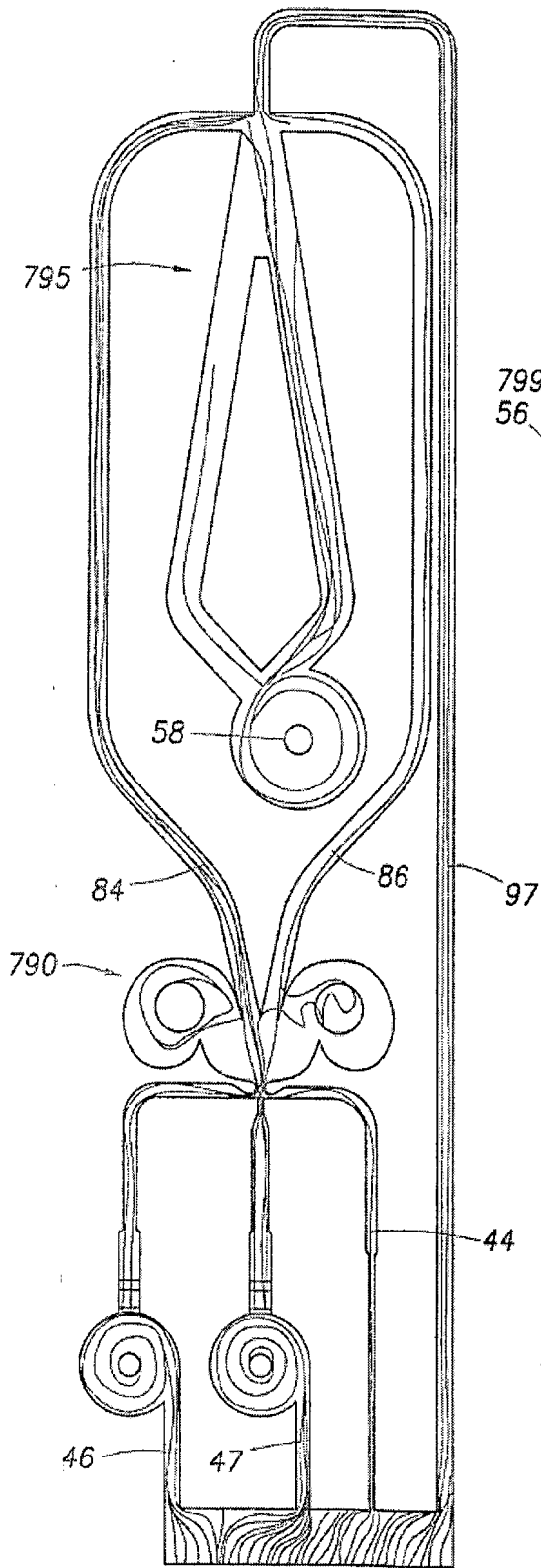


FIG. 13A

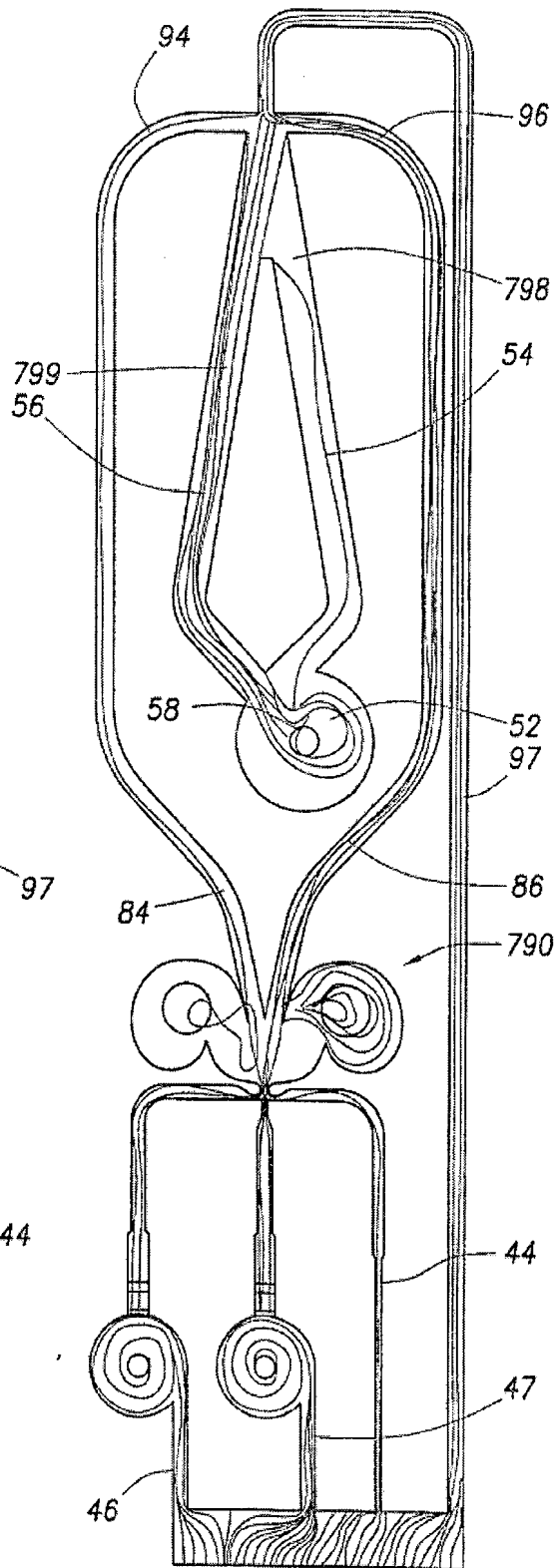


FIG. 13B

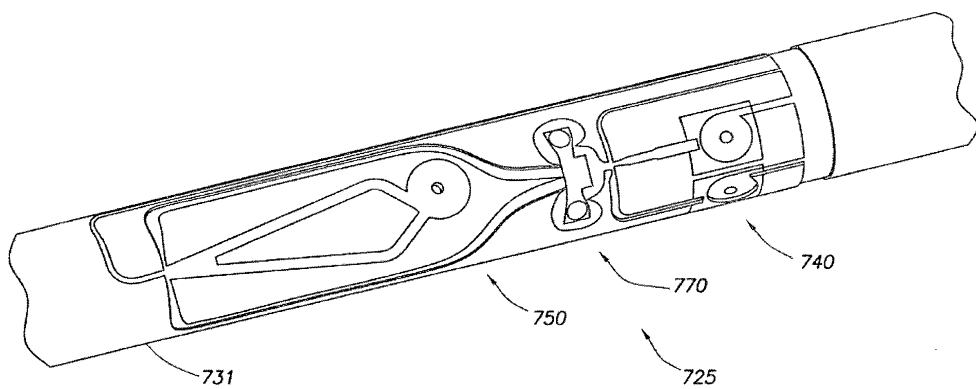


FIG. 14

416
112

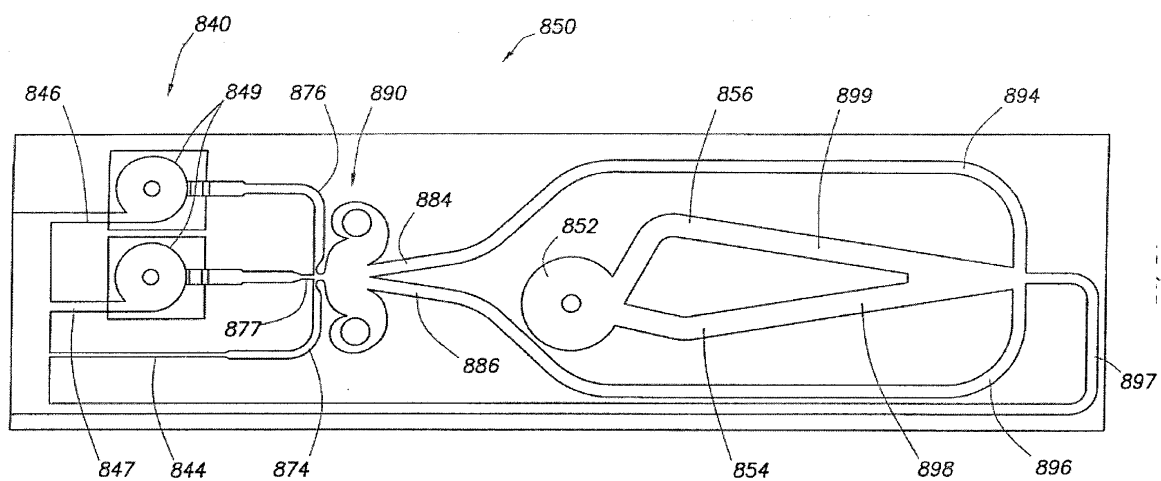
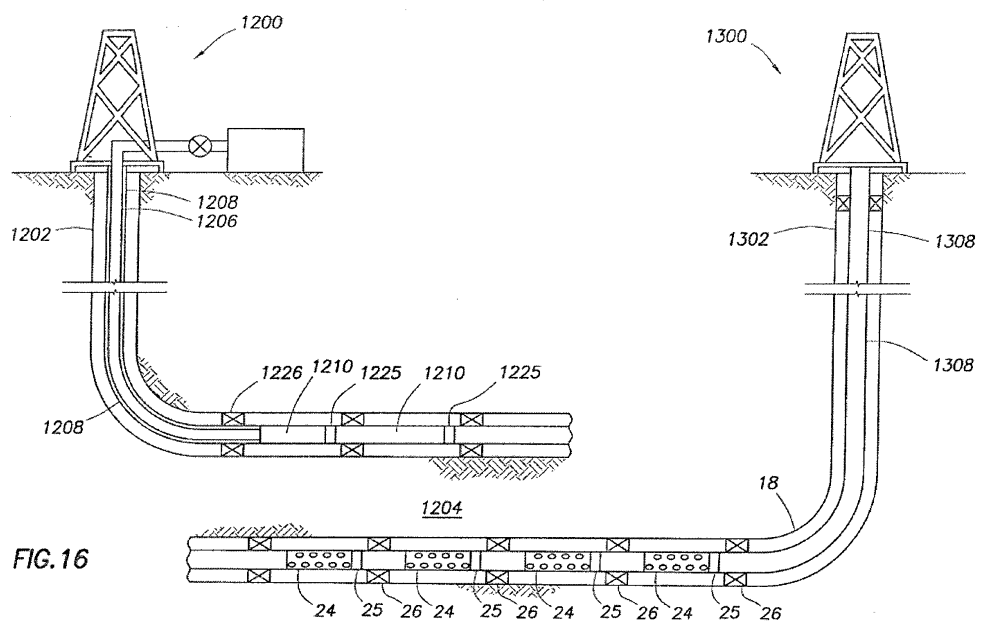
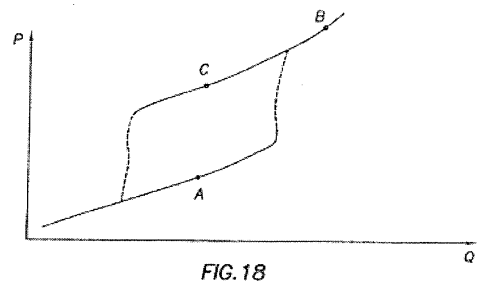
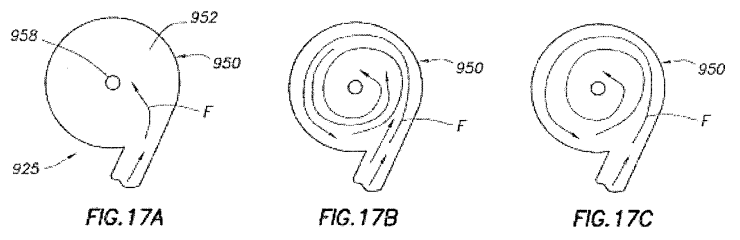


FIG.15



119

148



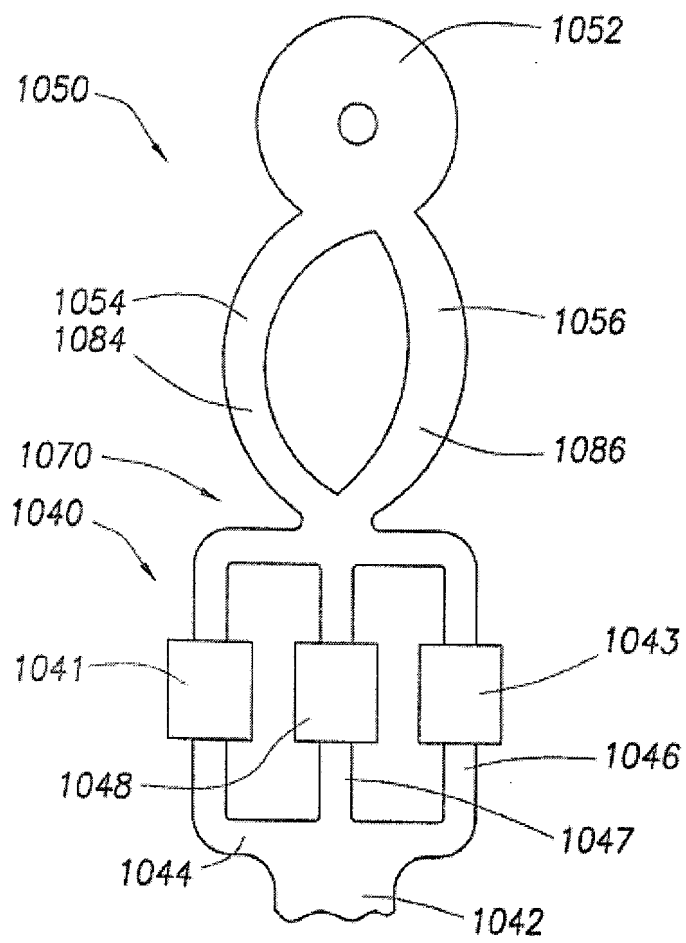


FIG. 19

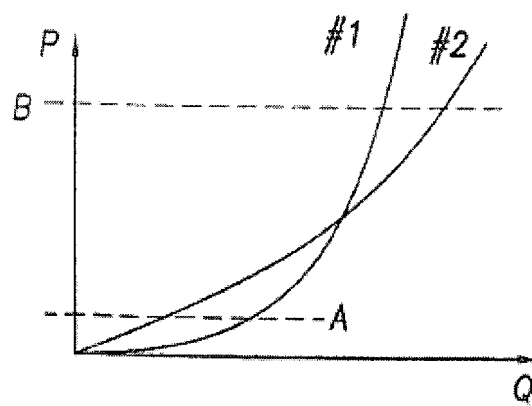


FIG. 20

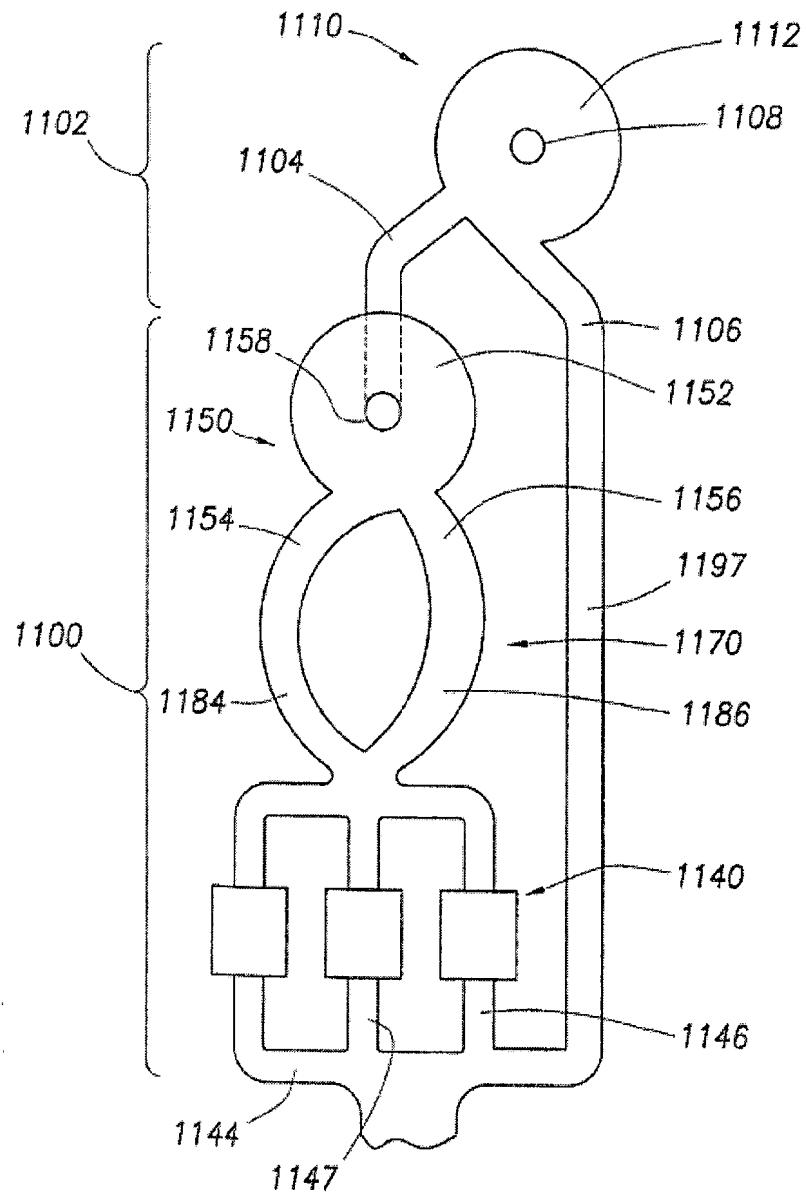


FIG. 21

107
103
102

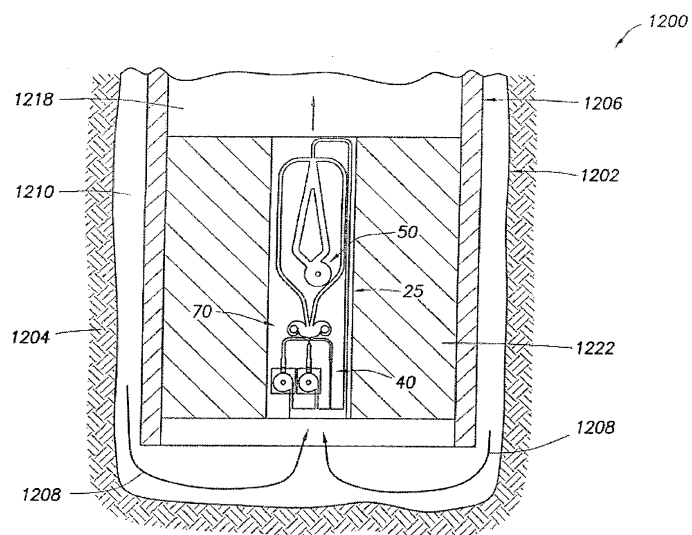
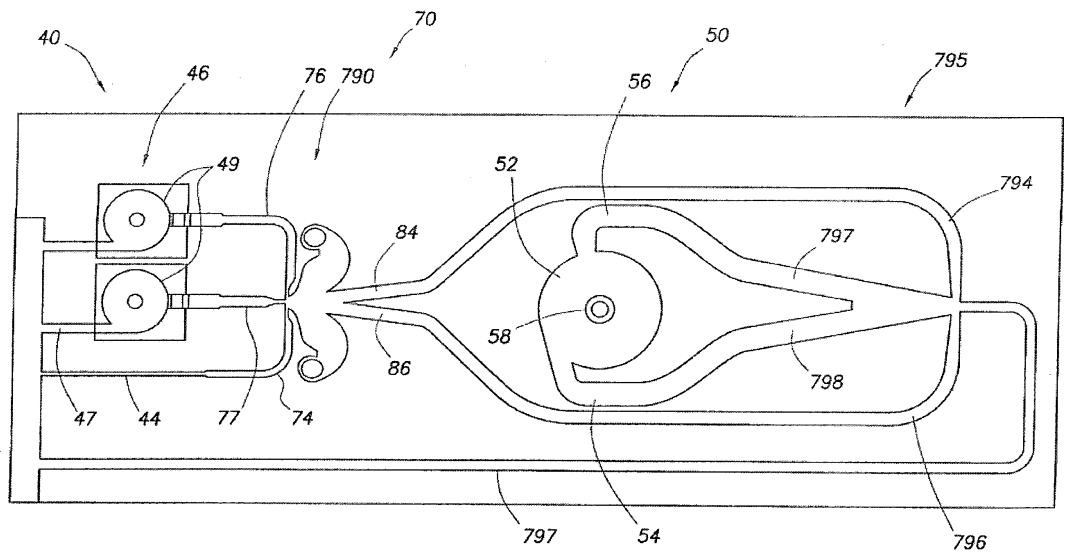


FIG. 22



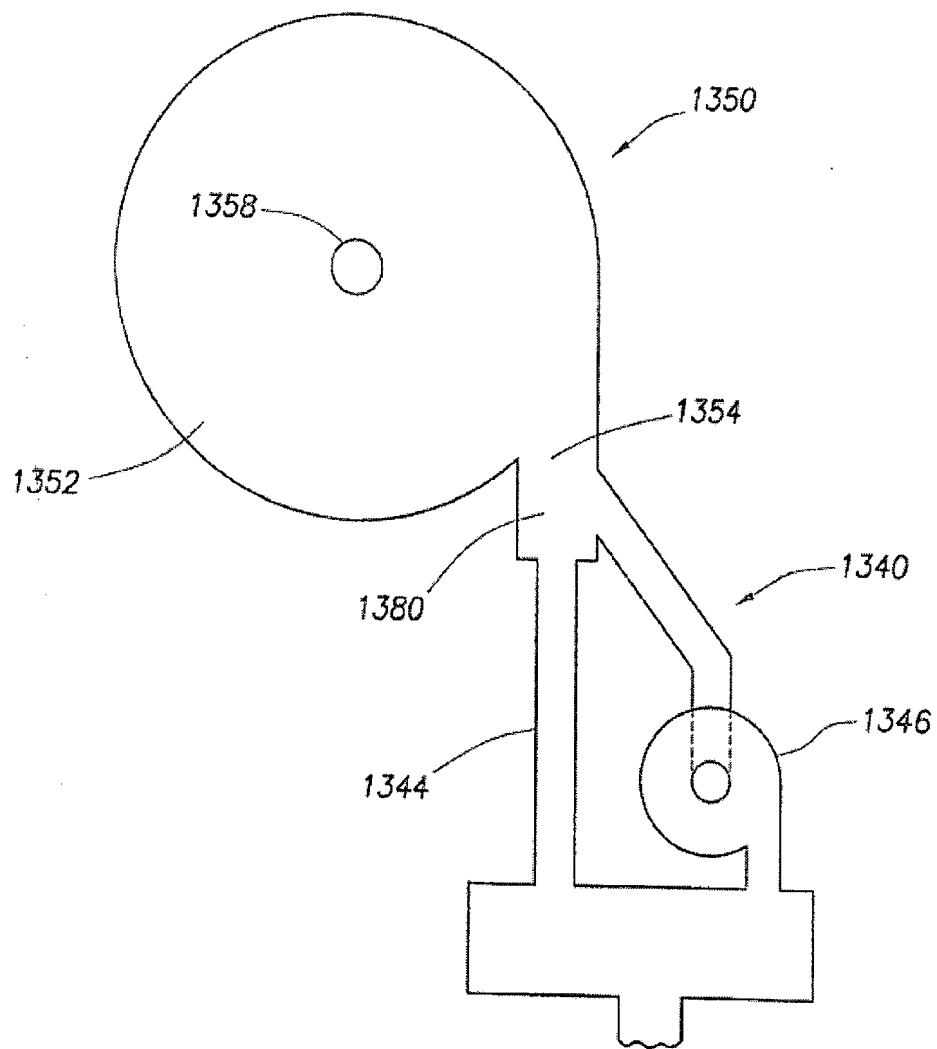


FIG. 24A

125
176

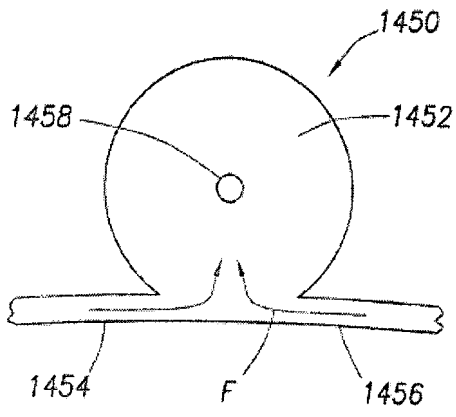


FIG. 24B

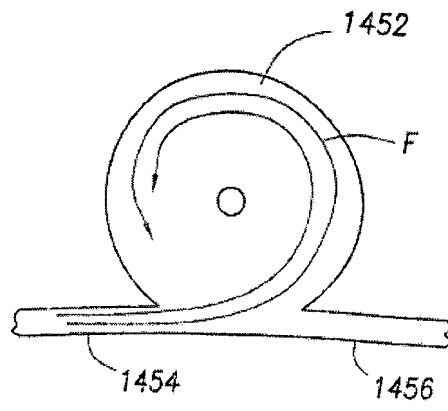


FIG. 24C

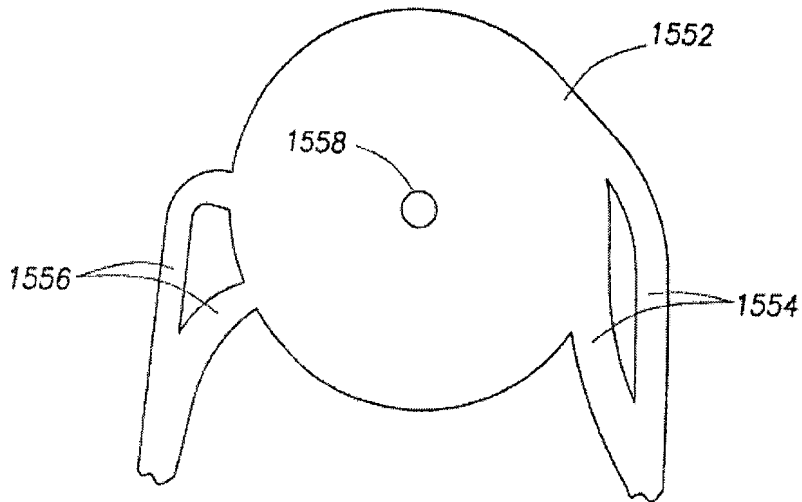


FIG. 24D

Att
127

TITLE:
**METHOD AND APPARATUS FOR AUTONOMOUS DOWNHOLE FLUID
SELECTION WITH PATHWAY DEPENDENT RESISTANCE SYSTEM**

Inventors: Jason D. Dykstra
 Michael L. Fripp
 Orlando DeJesus

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

None

FIELD OF INVENTION

[0001] The invention relates generally to methods and apparatus for selective control of fluid flow from a formation in a hydrocarbon bearing subterranean formation into a production string in a wellbore. More particularly, the invention relates to methods and apparatus for controlling the flow of fluid based on some characteristic of the fluid flow by utilizing a flow direction control system and a pathway dependant resistance system for providing variable resistance to fluid flow. The system can also preferably include a fluid amplifier.

BACKGROUND OF INVENTION

[0002] During the completion of a well that traverses a hydrocarbon bearing subterranean formation, production tubing and various equipment are installed in the well to enable safe and efficient production of the fluids. For example, to prevent the production of particulate material from an unconsolidated or loosely consolidated subterranean formation, certain completions include one or more sand control screens positioned proximate the desired production intervals. In other completions, to control the flow rate of production fluids into the production tubing, it is common practice to install one or more inflow control devices with the completion string.

127
128

[0003] Production from any given production tubing section can often have multiple fluid components, such as natural gas, oil and water, with the production fluid changing in proportional composition over time. Thereby, as the proportion of fluid components changes, the fluid flow characteristics will likewise change. For example, when the production fluid has a proportionately higher amount of natural gas, the viscosity of the fluid will be lower and density of the fluid will be lower than when the fluid has a proportionately higher amount of oil. It is often desirable to reduce or prevent the production of one constituent in favor of another. For example, in an oil-producing well, it may be desired to reduce or eliminate natural gas production and to maximize oil production. While various downhole tools have been utilized for controlling the flow of fluids based on their desirability, a need has arisen for a flow control system for controlling the inflow of fluids that is reliable in a variety of flow conditions. Further, a need has arisen for a flow control system that operates autonomously, that is, in response to changing conditions downhole and without requiring signals from the surface by the operator. Further, a need has arisen for a flow control system without moving mechanical parts which are subject to breakdown in adverse well conditions including from the erosive or clogging effects of sand in the fluid. Similar issues arise with regard to injection situations, with flow of fluids going into instead of out of the formation.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0004] An apparatus is described for controlling flow of fluid in a production tubular positioned in a wellbore extending through a hydrocarbon-bearing subterranean formation. A flow control system is placed in fluid communication with a production tubular. The flow control system has a flow direction control system and a pathway dependent resistance system. The flow direction control system can preferably comprise a flow ratio control system having at least a first and second passageway, the production fluid flowing into the passageways with the ratio of fluid flow through the passageways related to a characteristic of the fluid flow, such as viscosity, density, flow rate or combinations of the properties. The pathway dependent resistance system preferably

includes a vortex chamber with at least a first inlet and an outlet, the first inlet of the pathway dependent resistance system in fluid communication with at least one of the first or second passageways of the fluid ratio control system. In a preferred embodiment, the pathway dependent resistance system includes two inlets. The first inlet is positioned to direct fluid into the vortex chamber such that it flows primarily tangentially into the vortex chamber, and the second inlet is positioned to direct fluid such that it flows primarily radially into the vortex chamber. Desired fluids, such as oil, are selected based on their relative characteristics and are directed primarily radially into the vortex chamber. Undesired fluids, such as natural gas or water in an oil well, are directed into the vortex chamber primarily tangentially, thereby restricting fluid flow.

[0005] In a preferred embodiment, the flow control system also includes a fluid amplifier system interposed between the fluid ratio control system and the pathway dependent resistance system and in fluid communication with both. The fluid amplifier system can include a proportional amplifier, a jet-type amplifier, or a pressure-type amplifier. Preferably, a third fluid passageway, a primary passageway, is provided in the flow ratio control system. The fluid amplifier system then utilizes the flow from the first and second passageways as controls to direct the flow from the primary passageway.

[0006] The downhole tubular can include a plurality of inventive flow control systems. The interior passageway of the oilfield tubular can also have an annular passageway, with a plurality of flow control systems positioned adjacent the annular passageway such that the fluid flowing through the annular passageway is directed into the plurality of flow control systems.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0007] For a more complete understanding of the features and advantages of the present invention, reference is now made to the detailed description of the invention along with the accompanying figures in which corresponding numerals in the different figures refer to corresponding parts and in which:

918
130

[0008] Figure 1 is a schematic illustration of a well system including a plurality of autonomous flow control systems embodying principles of the present invention;

[0009] Figure 2 is a side view in cross-section of a screen system, an inflow control system, and a flow control system according to the present invention;

[0010] Figure 3 is a schematic representational view of an autonomous flow control system of an embodiment of the invention;

[0011] Figure 4A and 4B are Computational Fluid Dynamic models of the flow control system of Figure 3 for both natural gas and oil;

[0012] Figure 5 is a schematic of an embodiment of a flow control system according to the present invention having a ratio control system, pathway dependent resistance system and fluid amplifier system;

[0013] Figure 6A and 6B are Computational Fluid Dynamic models showing the flow ratio amplification effects of a fluid amplifier system in a flow control system in an embodiment of the invention;

[0014] Figure 7 is schematic of a pressure-type fluid amplifier system for use in the present invention;

[0015] Figure 8 is a perspective view of a flow control system according to the present invention positioned in a tubular wall; and

[0016] Figure 9 is an end view in cross-section of a plurality of flow control systems of the present invention positioned in a tubular wall.

[0017] Figure 10 is a schematic of an embodiment of a flow control system according to the present invention having a flow ratio control system, a pressure-type fluid amplifier system, a bistable switch amplifier system and a pathway dependent resistance system;

[0018] Figures 11A-B are Computational Fluid Dynamic models showing the flow ratio amplification effects of the embodiment of a flow control system as illustrated in Figure 10;

[0019] Figure 12 is a schematic of a flow control system according to one embodiment of the invention utilizing a fluid ratio control system, a fluid amplifier

136
131

system having a proportional amplifier in series with a bistable type amplifier, and a pathway dependent resistance system;

[0020] Figures 13A and 13B are Computational Fluid Dynamic models showing the flow patterns of fluid in the embodiment of the flow control system as seen in Figure 12;

[0021] Figure 14 is a perspective view of a flow control system according to the present invention positioned in a tubular wall;

[0022] Figure 15 is a schematic of a flow control system according to one embodiment of the invention designed to select a lower viscosity fluid over a higher viscosity fluid;

[0023] Figure 16 is a schematic showing use of flow control systems of the invention in an injection and a production well;

[0024] Figure 17A-C are schematic views of an embodiment of a pathway dependent resistance systems of the invention, indicating varying flow rate over time; Figure 18 is a chart of pressure versus flow rate and indicating the hysteresis effect expected from the variance in flow rate over time in the system of Figure 17;

[0025] Figure 19 is a schematic drawing showing a flow control system according to one embodiment of the invention having a ratio control system, amplifier system and pathway dependent resistance system, exemplary for use in inflow control device replacement;

[0026] Figure 20 is a chart of pressure, P , versus flow rate, Q , showing the behavior of the flow passageways in Figure 19;

[0027] Figure 21 is a schematic showing an embodiment of a flow control system according to the invention having multiple valves in series, with an auxiliary flow passageway and a secondary pathway dependent resistance system;

[0028] Figure 22 shows a schematic of a flow control system in accordance with the invention for use in reverse cementing operations in a tubular extending into a wellbore;

131
132

[0029] Figure 23 shows a schematic of a flow control system in accordance with the invention; and

[0030] Figure 24A-D shows schematic representational views of four alternate embodiments of a pathway dependent resistance system of the invention.

[0031] It should be understood by those skilled in the art that the use of directional terms such as above, below, upper, lower, upward, downward and the like are used in relation to the illustrative embodiments as they are depicted in the figures, the upward direction being toward the top of the corresponding figure and the downward direction being toward the bottom of the corresponding figure. Where this is not the case and a term is being used to indicate a required orientation, the Specification will state or make such clear. Upstream and downstream are used to indicate location or direction in relation to the surface, where upstream indicates relative position or movement towards the surface along the wellbore and downstream indicates relative position or movement further away from the surface along the wellbore.

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENTS

[0032] While the making and using of various embodiments of the present invention are discussed in detail below, a practitioner of the art will appreciate that the present invention provides applicable inventive concepts which can be embodied in a variety of specific contexts. The specific embodiments discussed herein are illustrative of specific ways to make and use the invention and do not limit the scope of the present invention.

[0033] Figure 1 is a schematic illustration of a well system, indicated generally 10, including a plurality of autonomous flow control systems embodying principles of the present invention. A wellbore 12 extends through various earth strata. Wellbore 12 has a substantially vertical section 14, the upper portion of which has installed therein a casing string 16. Wellbore 12 also has a substantially deviated section 18, shown as horizontal, which extends through a hydrocarbon-bearing subterranean formation 20. As illustrated, substantially horizontal section 18 of wellbore 12 is open hole. While shown here in an

132
(33)

open hole, horizontal section of a wellbore, the invention will work in any orientation, and in open or cased hole. The invention will also work equally well with injection systems, as will be discussed supra.

[0034] Positioned within wellbore 12 and extending from the surface is a tubing string 22. Tubing string 22 provides a conduit for fluids to travel from formation 20 upstream to the surface. Positioned within tubing string 22 in the various production intervals adjacent to formation 20 are a plurality of autonomous flow control systems 25 and a plurality of production tubing sections 24. At either end of each production tubing section 24 is a packer 26 that provides a fluid seal between tubing string 22 and the wall of wellbore 12. The space in-between each pair of adjacent packers 26 defines a production interval.

[0035] In the illustrated embodiment, each of the production tubing sections 24 includes sand control capability. Sand control screen elements or filter media associated with production tubing sections 24 are designed to allow fluids to flow therethrough but prevent particulate matter of sufficient size from flowing therethrough. While the invention does not need to have a sand control screen associated with it, if one is used, then the exact design of the screen element associated with fluid flow control systems is not critical to the present invention. There are many designs for sand control screens that are well known in the industry, and will not be discussed here in detail. Also, a protective outer shroud having a plurality of perforations therethrough may be positioned around the exterior of any such filter medium.

[0036] Through use of the flow control systems 25 of the present invention in one or more production intervals, some control over the volume and composition of the produced fluids is enabled. For example, in an oil production operation if an undesired fluid component, such as water, steam, carbon dioxide, or natural gas, is entering one of the production intervals, the flow control system in that interval will autonomously restrict or resist production of fluid from that interval.

[0037] The term "natural gas" as used herein means a mixture of hydrocarbons (and varying quantities of non-hydrocarbons) that exist in a gaseous phase at room

temperature and pressure. The term does not indicate that the natural gas is in a gaseous phase at the downhole location of the inventive systems. Indeed, it is to be understood that the flow control system is for use in locations where the pressure and temperature are such that natural gas will be in a mostly liquefied state, though other components may be present and some components may be in a gaseous state. The inventive concept will work with liquids or gases or when both are present.

[0038] The fluid flowing into the production tubing section 24 typically comprises more than one fluid component. Typical components are natural gas, oil, water, steam or carbon dioxide. Steam and carbon dioxide are commonly used as injection fluids to drive the hydrocarbon towards the production tubular, whereas natural gas, oil and water are typically found *in situ* in the formation. The proportion of these components in the fluid flowing into each production tubing section 24 will vary over time and based on conditions within the formation and wellbore. Likewise, the composition of the fluid flowing into the various production tubing sections throughout the length of the entire production string can vary significantly from section to section. The flow control system is designed to reduce or restrict production from any particular interval when it has a higher proportion of an undesired component.

[0039] Accordingly, when a production interval corresponding to a particular one of the flow control systems produces a greater proportion of an undesired fluid component, the flow control system in that interval will restrict or resist production flow from that interval. Thus, the other production intervals which are producing a greater proportion of desired fluid component, in this case oil, will contribute more to the production stream entering tubing string 22. In particular, the flow rate from formation 20 to tubing string 22 will be less where the fluid must flow through a flow control system (rather than simply flowing into the tubing string). Stated another way, the flow control system creates a flow restriction on the fluid.

[0040] Though Figure 1 depicts one flow control system in each production interval, it should be understood that any number of systems of the present invention can be deployed within a production interval without departing from the principles of the

present invention. Likewise, the inventive flow control systems do not have to be associated with every production interval. They may only be present in some of the production intervals in the wellbore or may be in the tubing passageway to address multiple production intervals.

[0041] Figure 2 is a side view in cross-section of a screen system 28, and an embodiment of a flow control system 25 of the invention having a flow direction control system, including a flow ratio control system 40, and a pathway dependent resistance system 50. The production tubing section 24 has a screen system 28, an optional inflow control device (not shown) and a flow control system 25. The production tubular defines an interior passageway 32. Fluid flows from the formation 20 into the production tubing section 24 through screen system 28. The specifics of the screen system are not explained in detail here. Fluid, after being filtered by the screen system 28, if present, flows into the interior passageway 32 of the production tubing section 24. As used here, the interior passageway 32 of the production tubing section 24 can be an annular space, as shown, a central cylindrical space, or other arrangement. In practice, downhole tools will have passageways of various structures, often having fluid flow through annular passageways, central openings, coiled or tortuous paths, and other arrangements for various purposes. The fluid may be directed through a tortuous passageway or other fluid passages to provide further filtration, fluid control, pressure drops, etc. The fluid then flows into the inflow control device, if present. Various inflow control devices are well known in the art and are not described here in detail. An example of such a flow control device is commercially available from Halliburton Energy Services, Inc. under the trade mark EquiFlow®. Fluid then flows into the inlet 42 of the flow control system 25. While suggested here that the additional inflow control device be positioned upstream from the inventive device, it could also be positioned downstream of the inventive device or in parallel with the inventive device.

[0042] Figure 3 is a schematic representational view of an autonomous flow control system 25 of an embodiment of the invention. The system 25 has a fluid direction control system 40 and a pathway dependent resistance system 50.

135
136

[0043] The fluid direction control system is designed to control the direction of the fluid heading into one or more inlets of the subsequent subsystems, such as amplifiers or pathway dependent resistance systems. The fluid ratio system is a preferred embodiment of the fluid direction control system, and is designed to divide the fluid flow into multiple streams of varying volumetric ratio by taking advantage of the characteristic properties of the fluid flow. Such properties can include, but are not limited to, fluid viscosity, fluid density, flow rates or combinations of the properties. When we use the term "viscosity," we mean any of the rheological properties including kinematic viscosity, yield strength, viscoplasticity, surface tension, wettability, etc. As the proportional amounts of fluid components, for example, oil and natural gas, in the produced fluid change over time, the characteristic of the fluid flow also changes. When the fluid contains a relatively high proportion of natural gas, for example, the density and viscosity of the fluid will be less than for oil. The behavior of fluids in flow passageways is dependent on the characteristics of the fluid flow. Further, certain configurations of passageway will restrict flow, or provide greater resistance to flow, depending on the characteristics of the fluid flow. The fluid ratio control system takes advantage of the changes in fluid flow characteristics over the life of the well.

[0044] The fluid ratio system 40 receives fluid 21 from the interior passageway 32 of the production tubing section 24 or from the inflow control device through inlet 42. The ratio control system 40 has a first passageway 44 and second passageway 46. As fluid flows into the fluid ratio control system inlet 42, it is divided into two streams of flow, one in the first passageway 44 and one in the second passageway 46. The two passageways 44 and 46 are selected to be of different configuration to provide differing resistance to fluid flow based on the characteristics of the fluid flow.

[0045] The first passageway 44 is designed to provide greater resistance to desired fluids. In a preferred embodiment, the first passageway 44 is a long, relatively narrow tube which provides greater resistance to fluids such as oil and less resistance to fluids such as natural gas or water. Alternately, other designs for viscosity-dependent resistance tubes can be employed, such as a tortuous path or a passageway with a textured

136
137

interior wall surface. Obviously, the resistance provided by the first passageway 44 varies infinitely with changes in the fluid characteristic. For example, the first passageway will offer greater resistance to the fluid 21 when the oil to natural gas ratio on the fluid is 80:20 than when the ratio is 60:40. Further, the first passageway will offer relatively little resistance to some fluids such as natural gas or water.

[0046] The second passageway 46 is designed to offer relatively constant resistance to a fluid, regardless of the characteristics of the fluid flow, or to provide greater resistance to undesired fluids. A preferred second passageway 46 includes at least one flow restrictor 48. The flow restrictor 48 can be a venturi, an orifice, or a nozzle. Multiple flow restrictors 48 are preferred. The number and type of restrictors and the degree of restriction can be chosen to provide a selected resistance to fluid flow. The first and second passageways may provide increased resistance to fluid flow as the fluid becomes more viscous, but the resistance to flow in the first passageway will be greater than the increase in resistance to flow in the second passageway.

[0047] Thus, the flow ratio control system 40 can be employed to divide the fluid 21 into streams of a pre-selected flow ratio. Where the fluid has multiple fluid components, the flow ratio will typically fall between the ratios for the two single components. Further, as the fluid formation changes in component constituency over time, the flow ratio will also change. The change in the flow ratio is used to alter the fluid flow pattern into the pathway dependent resistance system.

[0048] The flow control system 25 includes a pathway dependent resistance system 50. In the preferred embodiment, the pathway dependent resistance system has a first inlet 54 in fluid communication with the first passageway 44, a second inlet 56 in fluid communication with the second passageway 46, a vortex chamber 52 and an outlet 58. The first inlet 54 directs fluid into the vortex chamber primarily tangentially. The second inlet 56 directs fluid into the vortex chamber 56 primarily radially. Fluids entering the vortex chamber 52 primarily tangentially will spiral around the vortex chamber before eventually flowing through the vortex outlet 58. Fluid spiraling around the vortex chamber will suffer from frictional losses. Further, the tangential velocity produces

centrifugal force that impedes radial flow. Fluid from the second inlet enters the chamber primarily radially and primarily flows down the vortex chamber wall and through the outlet without spiraling. Consequently, the pathway dependent resistance system provides greater resistance to fluids entering the chamber primarily tangentially than those entering primarily radially. This resistance is realized as back-pressure on the upstream fluid, and hence, a reduction in flow rate. Back-pressure can be applied to the fluid selectively by increasing the proportion of fluid entering the vortex primarily tangentially, and hence the flow rate reduced, as is done in the inventive concept.

[0049] The differing resistance to flow between the first and second passageways in the fluid ratio system results in a division of volumetric flow between the two passageways. A ratio can be calculated from the two volumetric flow rates. Further, the design of the passageways can be selected to result in particular volumetric flow ratios. The fluid ratio system provides a mechanism for directing fluid which is relatively less viscous into the vortex primarily tangentially, thereby producing greater resistance and a lower flow rate to the relatively less viscous fluid than would otherwise be produced.

[0050] Figures 4A and 4B are two Computational Fluid Dynamic models of the flow control system of Figure 3 for flow patterns of both natural gas and oil. Model 4A shows natural gas with approximately a 2:1 volumetric flow ratio (flow rate through the vortex tangential inlet 54 vs. vortex radial inlet 56) and model 4B shows oil with an approximately 1:2 flow ratio. These models show that the with proper sizing and selection of the passageways in the fluid ratio control system, the fluid composed of more natural gas can be made to shift more of its total flow to take the more energy-wasting route of entering the pathway dependent resistance system primarily tangentially. Hence, the fluid ratio system can be utilized in conjunction with the pathway dependent resistance system to reduce the amount of natural gas produced from any particular production tubing section.

[0051] Note that in Figure 4 eddies 60 or "dead spots" can be created in the flow patterns on the walls of the vortex chamber 52. Sand or particulate matter can settle out

138
134

of the fluid and build up at these eddy locations 60. Consequently, in one embodiment, the pathway dependent resistance system further includes one or more secondary outlets 62 to allow the sand to flush out of the vortex chamber 52. The secondary outlets 62 are preferably in fluid communication with the production string 22 upstream from the vortex chamber 52.

[0052] The angles at which the first and second inlets direct fluid into the vortex chamber can be altered to provide for cases when the flow entering the pathway dependent resistance system is closely balanced. The angles of the first and second inlets are chosen such that the resultant vector combination of the first inlet flow and the second inlet flow are aimed at the outlet 58 from the vortex chamber 52. Alternatively, the angles of the first and second inlet could be chosen such that the resultant vector combination of the first and second inlet flow will maximize the spiral of the fluid flow in the chamber. Alternately, the angles of the first and second inlet flow could be chosen to minimize the eddies 60 in the vortex chamber. The practitioner will recognize that the angles of the inlets at their connection with the vortex chamber can be altered to provide a desired flow pattern in the vortex chamber.

[0053] Further, the vortex chamber can include flow vanes or other directional devices, such as grooves, ridges, "waves" or other surface shaping, to direct fluid flow within the chamber or to provide additional flow resistance to certain directions of rotation. The vortex chamber can be cylindrical, as shown, or right rectangular, oval, spherical, spheroid or other shape.

[0054] Figure 5 is a schematic of an embodiment of a flow control system 125 having a fluid ratio system 140, pathway dependent resistance system 150 and fluid amplifier system 170. In a preferred embodiment, the flow control system 125 has a fluid amplifier system 170 to amplify the ratio split produced in the first and second passageways 144, 146 of the ratio control system 140 such that a greater ratio is achieved in the volumetric flow in the first inlet 154 and second inlet 156 of the pathway dependent resistance system 150. In a preferred embodiment, the fluid ratio system 140 further includes a primary flow passageway 147. In this embodiment, the fluid flow is

split into three flow paths along the flow passageways 144, 146 and 147 with the primary flow in the primary passageway 147. It is to be understood that the division of flows among the passageways can be selected by the design parameters of the passageways. The primary passageway 147 is not necessary for use of a fluid amplifier system, but is preferred. As an example of the ratio of inlet flows between the three inlets, the flow ratio for a fluid composed primarily of natural gas may be 3:2:5 for the first:second:primary passageways. The ratio for fluid primarily composed of oil may be 2:3:5.

[0055] The fluid amplifier system 170 has a first inlet 174 in fluid communication with the first passageway 144, a second inlet 176 in fluid communication with the second passageway 146 and a primary inlet 177 in fluid communication with primary passageway 147. The inlets 174, 176 and 177 of the fluid amplifier system 170 join together at amplifier chamber 180. Fluid flow into the chamber 180 is then divided into amplifier outlet 184 which is in fluid communication with pathway dependent resistance system inlet 154, and amplifier outlet 186 which is in fluid communication with pathway dependent resistance system inlet 156. The amplifier system 170 is a fluidic amplifier which uses relatively low-value input flows to control higher output flows. The fluid entering the amplifier system 170 becomes a stream forced to flow in selected ratios into the outlet paths by careful design of the internal shapes of the amplifier system 170. The input passageways 144 and 146 of the fluid ratio system act as controls, supplying jets of fluid which direct the flow from the primary passageway 147 into a selected amplifier outlet 184 or 186. The control jet flow can be of far lower power than the flow of the primary passageway stream, although this is not necessary. The amplifier control inlets 174 and 176 are positioned to affect the resulting flow stream, thereby controlling the output through outlets 184 and 186.

[0056] The internal shape of the amplifier inlets can be selected to provide a desired effectiveness in determining the flow pattern through the outlets. For example, the amplifier inlets 174 and 176 are illustrated as connecting at right angles to the primary inlet 177. Angles of connection can be selected as desired to control the fluid stream. Further, the amplifier inlets 174, 176 and 177 are each shown as having nozzle

140
141

restrictions 187, 188 and 189, respectively. These restrictions provide a greater jetting effect as the flow through the inlets merges at chamber 180. The chamber 180 can also have various designs, including selecting the sizes of the inlets, the angles at which the inlets and outlets attach to the chamber, the shape of the chamber, such as to minimize eddies and flow separation, and the size and angles of the outlets. Persons of skill in the art will recognize that Figure 5 is but one example embodiment of a fluid amplifier system and that other arrangements can be employed. Further, the number and type of fluid amplifier can be selected.

[0057] Figures 6A and 6B are two Computational Fluid Dynamic models showing the flow ratio amplification effects of a fluid amplifier system 270 in a flow control system in an embodiment of the invention. Model 6A shows the flow paths when the only fluid component is natural gas. The volumetric flow ratio between the first passageway 244 and second passageway 246 is 30:20, with fifty percent of the total flow in the primary passageway 247. The fluid amplifier system 270 acts to amplify this ratio to 98:2 between the first amplifier outlet 284 and second outlet 286. Similarly, model 6B shows an amplification of flow ratio from 20:30 (with fifty percent of the total flow through the primary passageway) to 19:81 where the sole fluid component is oil.

[0058] The fluid amplifier system 170 illustrated in Figure 5 is a jet-type amplifier; that is, the amplifier uses the jet effect of the incoming streams from the inlets to alter and direct the path of flow through the outlets. Other types of amplifier systems, such as a pressure-type fluid amplifier, are shown in Figure 7. The pressure-type amplifier system 370 of Figure 7 is a fluidic amplifier which uses relatively low-value input pressures to control higher output pressures; that is, fluid pressure acts as the control mechanism for directing the fluid stream. The first amplifier inlet 374 and second inlet 376 each have a venturi nozzle restriction 390 and 391, respectively, which acts to increase fluid speed and thereby to reduce fluid pressure in the inlet passageway. Fluid pressure communication ports 392 and 393 convey the pressure difference between the first and second inlets 374 and 376 to the primary inlet 377. The fluid flow in the primary inlet 377 will be biased toward the low pressure side and away from the high

142

pressure side. For example, where the fluid has a relatively larger proportion of natural gas component, the fluid volumetric flow ratio will be weighted towards the first passageway of the fluid ratio system and first inlet 374 of the amplifier system 370. The greater flow rate in the first inlet 374 will result in a lower pressure transmitted through pressure port 390, while the lesser flow rate in the second inlet 376 will result in a higher pressure communicated through port 393. The higher pressure will “push,” or the lower pressure will “suction,” the primary fluid flow through the primary inlet 377 resulting in a greater proportion of flow through amplifier outlet 354. Note that the outlets 354 and 356 in this embodiment are in different positions than the outlets in the jet-type amplifier system of Figure 5.

[0059] Figure 8 is a perspective view (with “hidden” lines displayed) of a flow control system of a preferred embodiment in a production tubular. The flow control system 425, in a preferred embodiment, is milled, cast, or otherwise formed “into” the wall of a tubular. The passageways 444, 446, 447, inlets 474, 476, 477, 454, 456, chambers such as vortex chamber 452, and outlets 484, 486 of the ratio control system 440, fluid amplifier system 470 and pathway dependent resistance system 450 are, at least in part, defined by the shape of exterior surface 429 of the tubular wall 427. A sleeve is then place over the exterior surface 429 of the wall 427 and portions of the interior surface of the sleeve 433 define, at least in part, the various passageways and chambers of the system 425. Alternately, the milling may be on the interior surface of the sleeve with the sleeve positioned to cover the exterior surface of the tubular wall. In practice, it may be preferred that the tubular wall and sleeve define only selected elements of the flow control system. For example, the pathway dependent resistance system and amplifier system may be defined by the tubular wall while the ratio control system passageways are not. In a preferred embodiment, the first passageway of the fluid ratio control system, because of its relative length, is wrapped or coiled around the tubular. The wrapped passageway can be positioned within, on the exterior or interior of the tubular wall. Since the length of the second passageway of the ratio control system is

typically not required to be of the same length as the first passageway, the second passageway may not require wrapping, coiling, etc.

[0060] Multiple flow control systems 525 can be used in a single tubular. For example, Figure 9 shows multiple flow control systems 525 arranged in the tubular wall 531 of a single tubular. Each flow control system 525 receives fluid input from an interior passageway 532 of the production tubing section. The production tubular section may have one or multiple interior passageways for supplying fluid to the flow control systems. In one embodiment, the production tubular has an annular space for fluid flow, which can be a single annular passageway or divided into multiple passageways spaced about the annulus. Alternately, the tubular can have a single central interior passageway from which fluid flows into one or more flow control systems. Other arrangements will be apparent to those skilled in the art.

[0061] Figure 10 is a schematic of a flow control system having a fluid ratio system 640, a fluid amplifier system 670 which utilizes a pressure-type amplifier with a bistable switch, and a pathway dependent resistance system 650. The flow control system as seen in Figure 10 is designed to select oil flow over gas flow. That is, the system creates a greater back-pressure when the formation fluid is less viscous, such as when it is comprised of a relatively higher amount of gas, by directing most of the formation fluid into the vortex primarily tangentially. When the formation fluid is more viscous, such as when it comprises a relatively larger amount of oil, then most of the fluid is directed into the vortex primarily radially and little back-pressure is created. The pathway dependent resistance system 650 is downstream from the amplifier 670 which, in turn, is downstream from the fluid ratio control system 640. As used with respect to various embodiments of the fluid selector device herein, "downstream" shall mean in the direction of fluid flow while in use or further along in the direction of such flow. Similarly, "upstream" shall mean the opposite direction. Note that these terms may be used to describe relative position in a wellbore, meaning further or closer to the surface; such use should be obvious from context.

143
148

[0062] The fluid ratio system 640 is again shown with a first passageway 644 and a second passageway 646. The first passageway 644 is a viscosity-dependent passageway and will provide greater resistance to a fluid of higher viscosity. The first passageway can be a relatively long, narrow tubular passageway as shown, a tortuous passageway or other design providing requisite resistance to viscous fluids. For example, a laminar pathway can be used as a viscosity-dependent fluid flow pathway. A laminar pathway forces fluid flow across a relatively large surface area in a relatively thin layer, causing a decrease in velocity to make the fluid flow laminar. Alternately, a series of differing sized pathways can function as a viscosity-dependent pathway. Further, a swellable material can be used to define a pathway, wherein the material swells in the presence of a specific fluid, thereby shrinking the fluid pathway. Further, a material with different surface energy, such as a hydrophobic, hydrophilic, water-wet, or oil-wet material, can be used to define a pathway, wherein the wettability of the material restricts flow.

[0063] The second passageway 646 is less viscosity dependent, that is, fluids behave relatively similarly flowing through the second passageway regardless of their relative viscosities. The second passageway 646 is shown having a vortex diode 649 through which the fluid flows. The vortex diode 649 can be used as an alternative for the nozzle passageway 646 as explained herein, such as with respect to Figure 3, for example. Further, a swellable material or a material with special wettability can be used to define a pathway.

[0064] Fluid flows from the ratio control system 640 into the fluid amplifier system 670. The first passageway 644 of the fluid ratio system is in fluid communication with the first inlet 674 of the amplifier system. Fluid in the second passageway 646 of the fluid ratio system flows into the second inlet 676 of the amplifier system. Fluid flow in the first and second inlets combines or merges into a single flow path in primary passageway 680. The amplifier system 670 includes a pressure-type fluid amplifier 671 similar to the embodiment described above with regard to Figure 7. The differing flow rates of the fluids in the first and second inlet create differing pressures. Pressure drops

are created in the first and second inlets at the junctions with the pressure communication ports. For example, and as explained above, venturi nozzles 690 and 691, can be utilized at or near the junctions. Pressure communication ports 692 and 693 communicate the fluid pressure from the inlets 674 and 676, respectively, to the jet of fluid in primary passageway 680. The low pressure communication port, that is, the port connected to the inlet with the higher flow rate, will create a low-pressure "suction" which will direct the fluid as it jets through the primary passageway 680 past the downstream ends of the pressure communication ports.

[0065] In the embodiment seen at Figure 10, the fluid flow through inlets 674 and 676 merges into a single flow-path prior to being acted upon by the pressure communication ports. The alternative arrangement in Figure 7 shows the pressure ports directing flow of the primary inlet 377, with the flow in the primary inlet split into two flow streams in first and second outlets 384 and 386. The flow through the first inlet 374 merges with flow through second outlet 386 downstream of the pressure communication ports 392 and 393. Similarly, flow in second inlet 376 merges with flow in first outlet 384 downstream from the communication ports. In Figure 10, all of the fluid flow through the fluid amplifier system 670 is merged together in a single jet at primary passageway 680 prior to, or upstream of, the communication ports 692 and 693. Thus the pressure ports act on the combined stream of fluid flow.

[0066] The amplifier system 670 also includes, in this embodiment, a bistable switch 673, and first and second outlets 684 and 686. Fluid moving through primary passageway 680 is split into two fluid streams in first and second outlets 684 and 686. The flow of the fluid from the primary passageway is directed into the outlets by the effect of the pressure communicated by the pressure communication ports, with a resulting fluid flow split into the outlets. The fluid split between the outlets 684 and 686 defines a fluid ratio; the same ratio is defined by the fluid volumetric flow rates through the pathway dependent resistance system inlets 654 and 656 in this embodiment. This fluid ratio is an amplified ratio over the ratio between flow through inlets 674 and 676.

[0067] The flow control system in Figure 10 includes a pathway dependent resistance system 650. The pathway dependent resistance system has a first inlet 654 in fluid communication with the first outlet 684 of the fluid amplifier system 644, a second inlet 656 in fluid communication with the second passageway 646, a vortex chamber 52 and an outlet 658. The first inlet 654 directs fluid into the vortex chamber primarily tangentially. The second inlet 656 directs fluid into the vortex chamber 656 primarily radially. Fluid entering the vortex chamber 652 primarily tangentially will spiral around the vortex wall before eventually flowing through the vortex outlet 658. Fluid spiraling around the vortex chamber increases in speed with a coincident increase in frictional losses. The tangential velocity produces centrifugal force that impedes radial flow. Fluid from the second inlet enters the chamber primarily radially and primarily flows down the vortex chamber wall and through the outlet without spiraling. Consequently, the pathway dependent resistance system provides greater resistance to fluids entering the chamber primarily tangentially than those entering primarily radially. This resistance is realized as back-pressure on the upstream fluid. Back-pressure can be applied to the fluid selectively where the proportion of fluid entering the vortex primarily tangentially is controlled.

[0068] The pathway dependent resistance system 650 functions to provide resistance to the fluid flow and a resulting back-pressure on the fluid upstream. The resistance provided to the fluid flow is dependent upon and in response to the fluid flow pattern imparted to the fluid by the fluid ratio system and, consequently, responsive to changes in fluid viscosity. The fluid ratio system selectively directs the fluid flow into the pathway dependent resistance system based on the relative viscosity of the fluid over time. The pattern of fluid flow into the pathway dependent resistance system determines, at least in part, the resistance imparted to the fluid flow by the pathway dependent resistance system. Elsewhere herein is described pathway dependent resistance system use based on the relative flow rate over time. The pathway dependent resistance system can possibly be of other design, but a system providing resistance to the fluid flow through centripetal force is preferred.

248
147

[0069] Note that in this embodiment, the fluid amplifier system outlets 684 and 686 are on opposite "sides" of the system when compared to the outlets in Figure 5. That is, in Figure 10 the first passageway of the fluid ratio system, the first inlet of the amplifier system and the first inlet of the pathway dependent resistance system are all on the same longitudinal side of the flow control system. This is due to the use of a pressure-type amplifier 671; where a jet-type amplifier is utilized, as in Figure 5, the first fluid ratio control system passageway and first vortex inlet will be on opposite sides of the system. The relative positioning of passageways and inlets will depend on the type and number of amplifiers employed. The critical design element is that the amplified fluid flow be directed into the appropriate vortex inlet to provide radial or tangential flow in the vortex.

[0070] The embodiment of the flow control system shown in Figure 11 can also be modified to utilize a primary passageway in the fluid ratio system, and primary inlet in the amplifier system, as explained with respect to Figure 5 above.

[0071] Figures 11A-B are Computational Fluid Dynamic models showing test results of flowing fluid of differing viscosities through the flow system as seen in Figure 10. The tested system utilized a viscosity-dependent first passageway 644 having an ID with a cross-section of 0.04 square inches. The viscosity-independent passageway 646 utilized a 1.4 inch diameter vortex diode 649. A pressure-type fluid amplifier 671 was employed, as shown and as explained above. The bistable switch 673 used was 13 inches long with 0.6 inch passageways. The pathway dependent resistance system 650 had a 3 inch diameter chamber with a 0.5 inch outlet port.

[0072] Figure 11A shows a Computational Fluid Dynamic model of the system in which oil having a viscosity of 25 cP is tested. The fluid flow ratio defined by volumetric fluid flow rate through the first and second passageways of the flow ratio control system was measured as 47:53. In the pressure-type amplifier 671 the flow rates were measured as 88.4% through primary passageway 680 and 6.6% and 5% through the first and second pressure ports 692 and 693, respectively. The fluid ratio induced by the fluid amplifier system, as defined by the flow rates through the first and second amplifier

147
148

outlets 684 and 686, was measured as 70:30. The bistable switch or the selector system, with this flow regime, is said to be "open."

[0073] Figure 11B shows a Computational Fluid Dynamic model of the same system utilizing natural gas having a viscosity of 0.022 cP. The Computational Fluid Dynamic model is for gas under approximately 5000 psi. The fluid flow ratio defined by volumetric fluid flow rate through the first and second passageways of the flow ratio control system was measured as 55:45. In the pressure-type amplifier 671 the flow rates were measured as 92.6% through primary passageway 680 and 2.8% and 4.6% through the first and second pressure ports 692 and 693, respectively. The fluid ratio induced by the fluid amplifier system, as defined by the flow rates through the first and second amplifier outlets 684 and 686, was measured as 10:90. The bistable switch or the selector system, with this flow regime, is said to be "closed" since the majority of fluid is directed through the first vortex inlet 654 and enters the vortex chamber 652 primarily tangentially, as can be seen by the flow patterns in the vortex chamber, creating relatively high back-pressure on the fluid.

[0074] In practice, it may be desirable to utilize multiple fluid amplifiers in series in the fluid amplifier system. The use of multiple amplifiers will allow greater differentiation between fluids of relatively similar viscosity; that is, the system will better be able to create a different flow pattern through the system when the fluid changes relatively little in overall viscosity. A plurality of amplifiers in series will provide a greater amplification of the fluid ratio created by the fluid ratio control device. Additionally, the use of multiple amplifiers will help overcome the inherent stability of any bistable switch in the system, allowing a change in the switch condition based on a smaller percent change of fluid ratio in the fluid ratio control system.

[0075] Figure 12 is a schematic of a flow control system according to one embodiment of the invention utilizing a fluid ratio control system 740, a fluid amplifier system 770 having two amplifiers 790 and 795 in series, and a pathway dependent resistance system 750. The embodiment in Figure 12 is similar to the flow control systems described herein and will be addressed only briefly. From upstream to

148
149

downstream, the system is arranged with the flow ratio control system 740, the fluid amplifier system 770, the bi-stable amplifier system 795, and the pathway dependent resistance system 750.

[0076] The fluid ratio system 740 is shown having first, second and primary passageways 744, 746, and 747. In this case, both the second 46 and primary passageways 747 utilize vortex diodes 749. The use of vortex diodes and other control devices is selected based on design considerations including the expected relative viscosities of the fluid over time, the preselected or target viscosity at which the fluid selector is to "select" or allow fluid flow relatively unimpeded through the system, the characteristics of the environment in which the system is to be used, and design considerations such as space, cost, ease of system, etc. Here, the vortex diode 749 in the primary passageway 747 has a larger outlet than that of the vortex diode in the second passageway 746. The vortex diode is included in the primary passageway 747 to create a more desirable ratio split, especially when the formation fluid is comprised of a larger percentage of natural gas. For example based on testing, with or without a vortex diode 749 in the primary passageway 747, a typical ratio split (first:second:primary) through the passageways when the fluid is composed primarily of oil was about 29:38:33. When the test fluid was primarily composed of natural gas and no vortex diode was utilized in the primary passageway, the ratio split was 35:32:33. Adding the vortex diode to the primary passageway, that ratio was altered to 38:33:29. Preferably, the ratio control system creates a relatively larger ratio between the viscosity-dependent and independent passageways (or vice versa depending on whether the user wants to select production for higher or lower viscosity fluid). Use of the vortex diode assists in creating a larger ratio. While the difference in using the vortex diode may be relatively small, it enhances the performance and effectiveness of the amplifier system.

[0077] Note that in this embodiment a vortex diode 749 is utilized in the "viscosity independent" passageway 746 rather than a multiple orifice passageway. As explained herein, different embodiments may be employed to create passageways which are relatively dependent or independent dependent on viscosity. Use of a vortex diode

149
150

749 creates a lower pressure drop for a fluid such as oil, which is desirable in some utilizations of the device. Further, use of selected viscosity-dependent fluid control devices (vortex diode, orifices, etc.) may improve the fluid ratio between passageways depending on the application.

[0078] The fluid amplifier system 770 in the embodiment shown in Figure 12 includes two fluid amplifiers 790 and 795. The amplifiers are arranged in series. The first amplifier is a proportional amplifier 790. The first amplifier system 790 has a first inlet 774, second inlet 776, and primary inlet 777 in fluid communication with, respectively, the first passageway 746, second passageway 746 and primary passageway 747 of the fluid ratio control system. The first, second and primary inlets are connected to one another and merge the fluid flow through the inlets as described elsewhere herein. The fluid flow is joined into a single fluid flow stream at proportional amplifier chamber 780. The flow rates of fluid from the first and second inlets direct the combined fluid flow into the first outlet 784 and second outlet 786 of the proportional amplifier 790. The proportional amplifier system 790 has two "lobes" for handling eddy flow and minor flow disruption. A pressure-balancing port 789 fluidly connects the two lobes for balancing pressure between the two lobes on either side of the amplifier.

[0079] The fluid amplifier system further includes a second fluid amplifier system 795, in this case a bistable switch amplifier. The amplifier 795 has a first inlet 794, a second inlet 796 and a primary inlet 797. The first and second inlets 794 and 796 are, respectively, in fluid communication with first and second outlets 784 and 786. The bistable switch amplifier 795 is shown having a primary inlet 797 which is in fluid communication with the interior passageway of the tubular. The fluid flow from the first and second inlets 794 and 796 direct the combined fluid flows from the inlets into the first and second outlets 798 and 799. The pathway dependent resistance system 750 is as described elsewhere herein.

[0080] Multiple amplifiers can be employed in series to enhance the ratio division of the fluid flow rates. In the embodiment shown, for example, where a fluid composed primarily of oil is flowing through the selector system, the fluid ratio system

150
(51)

740 creates a flow ratio between the first and second passageways of 29:38 (with the remaining 33 percent of flow through the primary passageway). The proportional amplifier system 790 may amplify the ratio to approximately 20:80 (first:second outlets of amplifier system 790). The bistable switch amplifier system 795 may then amplify the ratio further to, say, 10:90 as the fluid enters the first and second inlets to the pathway dependent resistance system. In practice, a bistable amplifier tends to be fairly stable. That is, switching the flow pattern in the outlets of the bistable switch may require a relatively large change in flow pattern in the inlets. The proportional amplifier tends to divide the flow ratio more evenly based on the inlet flows. Use of a proportional amplifier, such as at 790, will assist in creating a large enough change in flow pattern into the bistable switch to effect a change in the switch condition (from "open" to "closed and vice versa).

[0081] The use of multiple amplifiers in a single amplifier system can include the use of any type or design of amplifier known in the art, including pressure-type, jet-type, bistable, proportional amplifiers, etc., in any combination. It is specifically taught that the amplifier system can utilize any number and type of fluid amplifier, in series or parallel. Additionally, the amplifier systems can include the use of primary inlets or not, as desired. Further, as shown, the primary inlets can be fed with fluid directly from the interior passageway of the tubular or other fluid source. The system in Figure 12 is shown "doubling-back" on itself; that is, reversing the direction of flow from left to right across the system to right to left. This is a space-saving technique but is not critical to the invention. The specifics of the relative spatial positions of the fluid ratio system, amplifier system and pathway dependent resistance system will be informed by design considerations such as available space, sizing, materials, system and manufacturing concerns.

[0082] Figures 13A and 13B are Computational Fluid Dynamic models showing the flow patterns of fluid in the embodiment of the flow control system as seen in Figure 12. In Figure 13A, the fluid utilized was natural gas. The fluid ratio at the first, second and primary fluid ratio system outlets was 38:33:29. The proportional amplifier system

AST
156

790 amplified the ratio to approximately 60:40 in the first and second outlets 784 and 786. That ratio was further amplified by the second amplifier system 795, where the first:second:primary inlet ratio was approximately 40:30:20. The output ratio of the second amplifier 795 as measured at either the first and second outlets 798 and 799 or at the first and second inlets to the pathway dependent resistance system was approximately 99:1. The fluid of relatively low viscosity was forced to flow primarily into the first inlet of the pathway dependent resistance system and then into the vortex at a substantially tangential path. The fluid is forced to substantially rotate about the vortex creating a greater pressure drop than if the fluid had entered the vortex primarily radially. This pressure drop creates a back-pressure on the fluid in the selector system and slows production of fluid.

[0083] In Figure 13B, a Computational Fluid Dynamic model is shown wherein the tested fluid was composed of oil of viscosity 25 cP. The fluid ratio control system 740 divided the flow rate into a ratio of 29:38:33. The first amplifier system 790 amplified the ratio to approximately 40:60. The second amplifier system 795 further amplified that ratio to approximately 10:90. As can be seen, the fluid was forced to flow into the pathway dependent resistance system primarily through the second substantially radial inlet 56. Although some rotational flow is created in the vortex, the substantial portion of flow is radial. This flow pattern creates less of a pressure drop on the oil than would be created if the oil flowed primarily tangentially into the vortex. Consequently, less back-pressure is created on the fluid in the system. The flow control system is said to "select" the higher viscosity fluid, oil in this case, over the less viscous fluid, gas.

[0084] Figure 14 is a perspective, cross-sectional view of a flow control system according to the present invention as seen in Figure 12 positioned in a tubular wall. The various portions of the flow control system 25 are created in the tubular wall 731. A sleeve, not shown, or other covering is then placed over the system. The sleeve, in this example, forms a portion of the walls of the various fluid passageways. The passageways and vortices can be created by milling, casting or other method. Additionally, the various

152
153

portions of the flow control system can be manufactured separately and connected together.

[0085] The examples and testing results described above in relation to Figures 10-14 are designed to select a more viscous fluid, such as oil, over a fluid with different characteristics, such as natural gas. That is, the flow control system allows relatively easier production of the fluid when it is composed of a greater proportion of oil and provides greater restriction to production of the fluid when it changes in composition over time to having a higher proportion of natural gas. Note that the relative proportion of oil is not necessarily required to be greater than half to be the selected fluid. It is to be expressly understood that the systems described can be utilized to select between any fluids of differing characteristics. Further, the system can be designed to select between the formation fluid as it varies between proportional amounts of any fluids. For example, in an oil well where the fluid flowing from the formation is expected to vary over time between ten and twenty percent oil composition, the system can be designed to select the fluid and allow relatively greater flow when the fluid is composed of twenty percent oil.

[0086] In a preferred embodiment, the system can be used to select the fluid when it has a relatively lower viscosity over when it is of a relatively higher viscosity. That is, the system can select to produce gas over oil, or gas over water. Such an arrangement is useful to restrict production of oil or water in a gas production well. Such a design change can be achieved by altering the pathway dependent resistance system such that the lower viscosity fluid is directed into the vortex primarily radially while the higher viscosity fluid is directed into the pathway dependent resistance system primarily tangentially. Such a system is shown at Figure 15.

[0087] Figure 15 is a schematic of a flow control system according to one embodiment of the invention designed to select a lower viscosity fluid over a higher viscosity fluid. Figure 15 is substantially similar to Figure 12 and will not be explained in detail. Note that the inlets 854 and 856 to the vortex chamber 852 are modified, or "reversed," such that the inlet 854 directs fluid into the vortex 852 primarily radially while the inlet 856 directs fluid into the vortex chamber primarily tangentially. Thus,

when the fluid is of relatively low viscosity, such as when composed primarily of natural gas, the fluid is directed into the vortex primarily radially. The fluid is "selected," the flow control system is "open," a low resistance and back-pressure is imparted on the fluid, and the fluid flows relatively easily through the system. Conversely, when the fluid is of relatively higher viscosity, such as when composed of a higher percentage of water, it is directed into the vortex primarily tangentially. The higher viscosity fluid is not selected, the system is "closed," a higher resistance and back-pressure (than would be imparted without the system in place) is imparted to the fluid, and the production of the fluid is reduced. The flow control system can be designed to switch between open and closed at a preselected viscosity or percentage composition of fluid components. For example, the system may be designed to close when the fluid reaches 40% water (or a viscosity equal to that of a fluid of that composition). The system can be used in production, such as in gas wells to prevent water or oil production, or in injection systems for selecting injection of steam over water. Other uses will be evident to those skilled in the art, including using other characteristics of the fluid, such as density or flow rate.

[0088] The flow control system can be used in other methods, as well. For example, in oilfield work-over and production it is often desired to inject a fluid, typically steam, into an injection well.

[0089] Figure 16 is a schematic showing use of the flow control system of the invention in an injection and a production well. One or more injection wells 1200 are injected with an injection fluid while desired formation fluids are produced at one or more production well 1300. The production well 1300 wellbore 1302 extends through the formation 1204. A tubing production string 1308 extends through the wellbore having a plurality of production tubular sections 24. The production tubular sections 24 can be isolated from one another as described in relation to Figure 1 by packers 26. Flow control systems can be employed on either or both of the injection and production wells.

[0090] Injection well 1200 includes a wellbore 1202 extending through a hydrocarbon bearing formation 1204. The injection apparatus includes one or more

ASU
155

steam supply lines 1206 which typically extend from the surface to the downhole location of injection on a tubing string 1208. Injection methods are known in the art and will not be described here in detail. Multiple injection port systems 1210 are spaced along the length of the tubing string 1208 along the target zones of the formation. Each of the port systems 1210 includes one or more autonomous flow control systems 1225. The flow control systems can be of any particular arrangement discussed herein, for example, of the design shown at Figure 15, shown in a preferred embodiment for injection use. During the injection process, hot water and steam are often commingled and exist in varying ratios in the injection fluid. Often hot water is circulated downhole until the system has reached the desired temperature and pressure conditions to provide primarily steam for injection into the formation. It is typically not desirable to inject hot water into the formation.

[0091] Consequently, the flow control systems 1225 are utilized to select for injection of steam (or other injection fluid) over injection of hot water or other less desirable fluids. The fluid ratio system will divide the injection fluid into flow ratios based on a relative characteristic of the fluid flow, such as viscosity, as it changes over time. When the injection fluid has an undesirable proportion of water and a consequently relatively higher viscosity, the ratio control system will divide the flow accordingly and the selector system will direct the fluid into the tangential inlet of the vortex thereby restricting injection of water into the formation. As the injection fluid changes to a higher proportion of steam, with a consequent change to a lower viscosity, the selector system directs the fluid into the pathway dependent resistance system primarily radially allowing injection of the steam with less back-pressure than if the fluid entered the pathway dependent resistance system primarily tangentially. The fluid ratio control system 40 can divide the injection fluid based on any characteristic of the fluid flow, including viscosity, density, and velocity.

[0092] Additionally, flow control systems 25 can be utilized on the production well 1300. The use of the selector systems 25 in the production well can be understood through the explanation herein, especially with reference to Figure 1 and 2. As steam is

forced through the formation 1204 from the injection well 1200, the resident hydrocarbon, for example oil, in the formation is forced to flow towards and into the production well 1300. Flow control systems 25 on the production well 1300 will select for the desired production fluid and restrict the production of injection fluid. When the injection fluid "breaks through" and begins to be produced in the production well, the flow control systems will restrict production of the injection fluid. It is typical that the injection fluid will break-through along sections of the production wellbore unevenly. Since the flow control systems are positioned along isolated production tubing sections, the flow control systems will allow for less restricted production of formation fluid in the production tubing sections where break-through has not occurred and restrict production of injection fluid from sections where break-through has occurred. Note that the fluid flow from each production tubing section is connected to the production string 302 in parallel to provide for such selection.

[0093] The injection methods described above are described for steam injection. It is to be understood that carbon dioxide or other injection fluid can be utilized. The selector system will operate to restrict the flow of the undesired injection fluid, such as water, while not providing increased resistance to flow of desired injection fluid, such as steam or carbon dioxide. In its most basic design, the flow control system for use in injection methods is reversed in operation from the fluid flow control as explained herein for use in production. That is, the injection fluid flows from the supply lines, through the flow control system (flow ratio control system, amplifier system and pathway dependent resistance system), and then into the formation. The flow control system is designed to select the preferred injection fluid; that is, to direct the injection fluid into the pathway dependent resistance system primarily radially. The undesired fluid, such as water, is not selected; that is, it is directed into the pathway dependent resistance system primarily tangentially. Thus, when the undesired fluid is present in the system, a greater back-pressure is created on the fluid and fluid flow is restricted. Note that a higher back-pressure is imparted on the fluid entering primarily tangentially than would be imparted were the selector system not utilized. This does not require that the back-pressure

157

necessarily be higher on a non-selected fluid than on a selected fluid, although that may well be preferred.

[0094] A bistable switch, such as shown at switch 170 in Figure 5 and at switch 795 in Figure 12, has properties which can be utilized for flow control even without the use of a flow ratio system. Bistable switch 795 performance is flow rate, or velocity, dependent. That is, at low velocities or flow rates the switch 795 lacks bistability and fluid flows into the outlets 798 and 799 in approximately equal amounts. As the rate of flow into the bistable switch 795 increases, bistability eventually forms.

[0095] At least one bistable switch can be utilized to provide selective fluid production in response to fluid velocity or flow rate variation. In such a system, fluid is "selected" or the fluid control system is open where the fluid flow rate is under a preselected rate. The fluid at a low rate will flow through the system with relatively little resistance. When the flow rate increases above the preselected rate, the switch is "flipped" closed and fluid flow is resisted. The closed valve will, of course, reduce the flow rate through the system. A bistable switch 170, as seen in Figure 5, once activated, will provide a Coanda effect on the fluid stream. The Coanda effect is the tendency of a fluid jet to be attracted to a nearby surface. The term is used to describe the tendency of the fluid jet exiting the flow ratio system, once directed into a selected switch outlet, such as outlet 184, to stay directed in that flow path even where the flow ratio returns to its previous condition due to the proximity of the fluid switch wall. At a low flow rate, the bistable switch lacks bistability and the fluid flows approximately equally through the outlets 184 and 186 and then about equally into the vortex inlets 154 and 156. Consequently, little back-pressure is created on the fluid and the flow control system is effectively open. As the rate of flow into the bistable switch 170 increases, bistability eventually forms and the switch performs as intended, directing a majority of the fluid flow through outlet 84 and then primarily tangentially into the vortex 152 through inlet 154 thereby closing the valve. The back-pressure, of course, will result in reduced flow rate, but the Coanda effect will maintain the fluid flow into switch outlet 184 even as the flow rate drops. Eventually, the flow rate may drop enough to overcome the Coanda

effect and flow will return to approximately equal flow through the switch outlets, thereby re-opening the valve.

[0096] The velocity or flow rate dependent flow control system can utilize fluid amplifiers as described above in relation to fluid viscosity dependent selector systems, such as seen in Figure 12.

[0097] In another embodiment of a velocity or flow rate dependent autonomous flow control system, a system utilizing a fluid ratio system, similar to that shown at ratio control system 140 in Figure 5, is used. The ratio control system passageways 144 and 146 are modified, as necessary, to divide the fluid flow based on relative fluid flow rate (rather than relative viscosity). A primary passageway 147 can be used if desired. The ratio control system in this embodiment divides the flow into a ratio based on fluid velocity. Where the velocity ratio is above a preselected amount (say, 1.0), the flow control system is closed and resists flow. Where the velocity ratio is below the predetermined amount, the system is open and fluid flow is relatively unimpeded. As the velocity of fluid flow changes over time, the valve will open or close in response. A flow ratio control passageway can be designed to provide a greater rate of increase in resistance to flow as a function of increased velocity above a target velocity in comparison to the other passageway. Alternately, a passageway can be designed to provide a lesser rate of increase in resistance to fluid flow as a function of fluid velocity above a targeted velocity in comparison to the other passageway.

[0098] Another embodiment of a velocity based fluid valve is seen at Figures 17A-C, in which a fluid pathway dependent resistance system 950 is used to create a bistable switch. The pathway dependent resistance system 950 preferably has only a single inlet 954 and single outlet 958 in this embodiment, although other inlets and outlets can be added to regulate flow, flow direction, eliminate eddies, etc. When the fluid flows at below a preselected velocity or flow rate, the fluid tends to simply flow through the vortex outlet 958 without substantial rotation about the vortex chamber 952 and without creating a significant pressure drop across the pathway dependent resistance system 50 as seen in Figure 17A. As velocity or flow rate increases to above a

158
159

preselected velocity, as seen in Figure 17B, the fluid rotates about the vortex chamber 952 before exiting through outlet 958, thereby creating a greater pressure drop across the system. The bistable vortex switch is then closed. As the velocity or flow rate decreases, as represented in Figure 17C, the fluid continues to rotate about the vortex chamber 952 and continue to have a significant pressure drop. The pressure drop across the system creates a corresponding back-pressure on the fluid upstream. When the velocity or flow rate drops sufficiently, the fluid will return to the flow pattern seen in Figure 17A and the switch will re-open. It is expected that a hysteresis effect will occur.

[0099] Such application of a bistable switch allows fluid control based on changes in the fluid characteristic of velocity or flow rate. Such control is useful in applications where it is desirable to maintain production or injection velocity or flow rate at or below a given rate. Further application will be apparent to those skilled in the art.

[0100] The flow control systems as described herein may also utilize changes in the density of the fluid over time to control fluid flow. The autonomous systems and valves described herein rely upon changes in a characteristic of the fluid flow. As described above, fluid viscosity and flow rate can be the fluid characteristic utilized to control flow. In an example system designed to take advantage of changes in the fluid characteristic of density, a flow control system as seen in Figure 3 provides a fluid ratio system 40 which employs at least two passageways 44 and 46 wherein one passageway is more density dependent than the other. That is, passageway 44 supplies a greater resistance to flow for a fluid having a greater density whereas the other passageway 46 is either substantially density independent or has an inverse flow relationship to density. In such a way, as the fluid changes to a preselected density it is "selected" for production and flows with relatively less resistance through the entire system 25 with less imparted back-pressure; that is, the system or valve will be "open." Conversely, as the density changes over time to an undesirable density, the flow ratio control system 40 will change the output ratio and the system 25 will impart a relatively greater back-pressure; that is, the valve is "closed."

159
160

[0101] Other flow control system arrangements can be utilized with a density dependent embodiment as well. Such arrangements include the addition of amplifier systems, pathway dependent resistance systems and the like as explained elsewhere herein. Further, density dependent systems may utilize bistable switches and other fluidic control devices herein.

[0102] In such a system, fluid is "selected" or the fluid selector valve is open where the fluid density is above or below a preselected density. For example, a system designed to select production of fluid when it is composed of a relatively greater percentage of oil, is designed to select production of the fluid, or be open, when the fluid is above a target density. Conversely, when the density of the fluid drops below the target density, the system is designed to be closed. When the density dips below the preselected density, the switch is "flipped" closed and fluid flow is resisted.

[0103] The density dependent flow control system can utilize fluid amplifiers as described above in relation to fluid viscosity dependent flow control systems, such as seen in Figure 12. In one embodiment of a density dependent autonomous flow control system, a system utilizing a fluid ratio system, similar to that shown at ratio control system 140 in Figure 5, is used. The ratio control system passageways 144 and 146 are modified, as necessary, to divide the fluid flow based on relative fluid density (rather than relative viscosity). A primary passageway 147 can be used if desired. The ratio control system in this embodiment divides the flow into a ratio based on fluid density. Where the density ratio is above (or below) a preselected ratio, the selector system is closed and resists flow. As the density of fluid flow changes over time, the valve will open or close in response.

[0104] The velocity dependent systems described above can be utilized in the steam injection method where there are multiple injection ports fed from the same steam supply line. Often during steam injection, a "thief zone" is encountered which bleeds a disproportionate amount of steam from the injection system. It is desirable to limit the amount of steam injected into the thief zone so that all of the zones fed by a steam supply receive appropriate amounts of steam.

160
161

[0105] Turning again to Figure 16, an injection well 1200 with steam source 1201 and steam supply line(s) 1206 supplying steam to multiple injection port systems 1210 is utilized. The flow control systems 1225 are velocity dependent systems, as described above. The injection steam is supplied from the supply line 1206 to the ports 1210 and thence into the formation 1204. The steam is injected through the velocity dependent flow control system, such as a bistable switch 170, seen in Figure 5, at a preselected "low" rate at which the switch does not exhibit bistability. The steam simply flows into the outlets 184 and 186 in basically similar proportion. The outlets 184 and 186 are in fluid communication with the inlets 154 and 156 of the pathway dependent resistance system. The pathway dependent resistance system 150 will thus not create a significant back-pressure on the steam which will enter the formation with relatively ease.

[0106] If a thief zone is encountered, the steam flow rate through the flow control system will increase above the preselected low injection rate to a relatively high rate. The increased flow rate of the steam through the bistable switch will cause the switch to become bistable. That is, the switch 170 will force a disproportionate amount of the steam flow through the bistable switch outlet 184 and into the pathway dependent resistance system 150 through the primarily tangentially-oriented inlet 154. Thus the steam injection rate into the thief zone will be restricted by the autonomous fluid selectors. (Alternately, the velocity dependent flow control systems can utilize the pathway dependent resistance system shown at Figure 17 or other velocity dependent systems described elsewhere to similar effect.)

[0107] It is expected that a hysteresis effect will occur. As the flow rate of the steam increases and creates bistability in the switch 170, the flow rate through the flow control system 125 will be restricted by the back-pressure created by the pathway dependent resistance system 140. This, in turn, will reduce the flow rate to the preselected low rate, at which time the bistable switch will cease to function, and steam will again flow relatively evenly through the vortex inlets and into the formation without restriction.

161
162

[0108] The hysteresis effect may result in “pulsing” during injection. Pulsing during injection can lead to better penetration of pore space since the transient pulsing will be pushing against the inertia of the surrounding fluid and the pathways into the tighter pore space may become the path of least resistance. This is an added benefit to the design where the pulsing is at the appropriate rate.

[0109] To “re-set” the system, or return to the initial flow pattern, the operator reduces or stops steam flow into the supply line. The steam supply is then re-established and the bistable switches are back to their initial condition without bistability. The process can be repeated as needed.

[0110] In some places, it is advantageous to have an autonomous flow control system or valve that restricts production of injection fluid as it starts to break-through into the production well, however, once the break-through has occurred across the entire well, the autonomous fluid selector valve turns off. In other words, the autonomous fluid selector valve restricts water production in the production well until the point is reached where that restriction is hurting oil production from the formation. Once that point is reached, the flow control system ceases restricting production into the production well.

[0111] In Figure 16, concentrating on the production well 1300, the production tubing string 1308 has a plurality of production tubular sections 24, each with at least one autonomous flow control system 25.

[0112] In one embodiment, the autonomous flow control system functions as a bistable switch, such as seen in Figure 17 at bistable switch 950. The bistable fluid switch 950 creates a region where different pressure drops can be found for the same flow rate. Figure 18 is a chart of pressure P versus flow rate Q illustrating the flow through bistable switch, pathway dependent resistance system 950. At fluid flow rate increases at region A, the pressure drop across the system gradually increases. When the flow rate increases to a preselected rate, the pressure will jump, as seen at region B. As the increased pressure leads to reduced flow rate, the pressure will stay relatively high, as seen at region C. If the flow rate drops enough, the pressure will drop significantly and the cycle can begin again. In practice the benefit of this hysteresis effect is that if the

operator knows what final position he wants the switch to be in, he can achieve it, by either starting with a very slow flow rate and gradually increasing it to the desired level, or, starting with a very high flow rate and gradually decreasing it to the desired level.

[0113] Figure 19 is a schematic drawing showing a flow control system according to one embodiment of the invention having a ratio control system, amplifier system and pathway dependent resistance system, exemplary for use in inflow control device replacement. Inflow Control Devices (ICD), such as commercially available from Halliburton Energy Services, Inc., under the trade name EquiFlow, for example. Influx from the reservoir varies, sometimes rushing to an early breakthrough and other times slowing to a delay. Either condition needs to be regulated so that valuable reserves can be fully recovered. Some wells experience a "heel-toe" effect, permeability differences and water challenges, especially in high viscosity oil reserves. An ICD attempts to balance inflow or production across the completion string, improving productivity, performance and efficiency, by achieving consistent flow along each production interval. An ICD typically moderates flow from high productivity zones and stimulates flow from lower productivity zones. A typical ICD is installed and combined with a sand screen in an unconsolidated reservoir. The reservoir fluid runs from the formation through the sand screen and into the flow chamber, where it continues through one or more tubes. Tube lengths and inner diameters are designed to induce the appropriate pressure drop to move the flow through the pipe at a steady pace. The ICD equalizes the pressure drop, yielding a more efficient completion and adding to the producing life as a result of delayed water-gas coning. Production per unit length is also enhanced.

[0114] The flow control system of Figure 19 is similar to that of Figures 5, 10 and 12 and so will not be discussed in detail. The flow control system shown in Figure 19 is velocity dependent or flow rate dependent. The ratio control system 1040 has first passageway 1044 with first fluid flow restrictor 1041 therein and a second inlet passageways 1046 with a second flow restrictor 1043 therein. A primary passageway 1047 can be utilized as well and can also have a flow restriction 1048. The restrictions in the passageways are designed to produce different pressure drops across the restrictions

as the fluid flow rate changes over time. The flow restrictor in the primary passageway can be selected to provide the same pressure drops over the same flow rates as the restrictor in the first or second passageway.

[0115] Figure 20 is a chart indicating the pressure, P, versus flow rate, Q, curves for the first passageway 1044 (#1) and second passageway 1046 (#2), each with selected restrictors. At a low driving pressure, line A, there will be more fluid flow in the first passageway 1044 and proportionately less fluid flow in the second passageway 1046. Consequently, the fluid flow leaving the amplifier system will be biased toward outlet 1086 and into the vortex chamber 1052 through radial inlet 1056. The fluid will not rotate substantially in the vortex chamber and the valve will be open, allowing flow without imparting substantial back-pressure. At a high driving pressure, such as at line B, the proportionate fluid flow through the first and second passageways will reverse and fluid will be directed into the vortex chamber primarily tangentially creating a relatively large pressure drop, imparting back-pressure to the fluid and closing the valve.

[0116] In a preferred embodiment where production is sought to be limited at higher driving pressures, the primary passageway restrictor is preferably selected to mimic the behavior of the restrictor in the first passageway 1044. Where the restriction 1048 behaves in a manner similar to restrictor 1041, the restriction 1048 allows less fluid flow at the high pressure drops, thereby restricting fluid flow through the system.

[0117] The flow restrictors can be orifices, viscous tubes, vortex diodes, etc. Alternately, the restrictions can be provided by spring biased members or pressure-sensitive components as known in the art. In the preferred embodiment, restriction 1041 in the first passageway 1044 has flexible "whiskers" which block flow at a low driving pressure but bend out of the way at a high pressure drop and allow flow.

[0118] This design for use as an ICD provides greater resistance to flow once a specified flow rate is reached, essentially allowing the designer to pick the top rate through the tubing string section.

164
165

[0119] Figure 21 shows an embodiment of a flow control system according to the invention having multiple valves in series, with an auxiliary flow passageway and secondary pathway dependent resistance system.

[0120] A first fluid selector valve system 1100 is arranged in series with a second fluidic valve system 1102. The first flow control system 1100 is similar to those described herein and will not be described in detail. The first fluid selector valve includes a flow ratio control system 1140 with first, second and primary passageways 1144, 1146 and 1147, a fluid amplifier system 1170, and a pathway dependent resistance system 1150, namely, a pathway dependent resistance system with vortex chamber 1152 and outlet 1158. The second fluidic valve system 1102 in the preferred embodiment shown has a selective pathway dependent resistance system 1110, in this case a pathway dependent resistance system. The pathway dependent resistance system 1110 has a radial inlet 1104 and tangential inlet 1106 and outlet 1108.

[0121] When a fluid having preferred viscosity (or flow rate) characteristics, to be selected, is flowing through the system, then the first flow control system will behave in an open manner, allowing fluid flow without substantial back-pressure being created, with fluid flowing through the pathway dependent resistance system 1150 of the first valve system primarily radially. Thus, minimal pressure drop will occur across the first valve system. Further, the fluid leaving the first valve system and entering the second valve system through radial inlet 1104 will create a substantially radial flow pattern in the vortex chamber 1112 of the second valve system. A minimal pressure drop will occur across the second valve system as well. This two-step series of autonomous fluid selector valve systems allows for looser tolerance and a wider outlet opening in the pathway dependent resistance system 1150 of the first valve system 1100.

[0122] The inlet 1104 receives fluid from auxiliary passageway 1197 which is shown fluidly connected to the same fluid source 1142 as the first autonomous valve system 1100. Alternately, the auxiliary passageway 1197 can be in fluid communication with a different fluid source, such as fluid from a separate production zone along a production tubular. Such an arrangement would allow the fluid flow rate at one zone to

control fluid flow in a separate zone. Alternatively, the auxiliary passageway can be fluid flowing from a lateral borehole while the fluid source for the first valve system 1100 is received from a flow line to the surface. Other arrangements will be apparent. It should be obvious that the auxiliary passageway can be used as the control input and the tangential and radial vortex inlets can be reversed. Other alternatives can be employed as described elsewhere herein, such as addition or subtraction of amplifier systems, flow ratio control modifications, vortex modifications and substitutes, etc.

[0123] Figure 22 is a schematic of a reverse cementing system 1200. The wellbore 1202 extends into a subterranean formation 1204. A cementing string 1206 extends into the wellbore 1202, typically inside a casing. The cementing string 1206 can be of any kind known in the art or discovered later capable of supplying cement into the wellbore in a reverse cementing procedure. During reverse cementing, the cement 1208 is pumped into the annulus 1210 formed between the wall of the wellbore 1202 and the cementing string 1206. The cement, flow of which is indicated by arrows 1208, is pumped into the annulus 1210 at an uphole location and downward through the annulus toward the bottom of the wellbore. The annulus thus fills from the top downward. During the procedure, the flow of cement and pumping fluid 1208, typically water or brine, is circulated down the annulus to the bottom of the cementing string, and then back upward through the interior passageway 1218 of the string.

[0124] Figure 22 shows a flow control system 25 mounted at or near the bottom of the cement string 1206 and selectively allowing fluid flow from outside the cementing string into the interior passageway 1218 of the cement string. The flow control system 25 is of a design similar to that explained herein in relation to Figure 3, Figure 5, Figure 10 or Figure 12. The flow control system 25 includes a ratio control system 40 and a pathway dependent resistance system 50. Preferably the system 25 includes at least one fluid amplifier system 70. The plug 1222 seals flow except for through the autonomous fluid selector valve.

[0125] The flow control system 25 is designed to be open, with the fluid directed primarily through the radial inlet of the pathway dependent resistance system 50, when a

166
167

lower viscosity fluid, such as pumping fluid, such as brine, is flowing through the system 25. As the viscosity of the fluid changes as cement makes its way down to the bottom of the wellbore and cement begins to flow through the flow control system 25, the selector system closes, directing the now higher viscosity fluid (cement) through the tangential inlet of the pathway dependent resistance system 50. Brine and water flows easily through the selector system since the valve is open when such fluids are flowing through the system. The higher viscosity cement (or other non-selected fluid) will cause the valve to close and measurably increase the pressure read at the surface.

[0126] In an alternate embodiment, multiple flow control systems in parallel are employed. Further, although the preferred embodiment has all fluid directed through a single flow control system, a partial flow from the exterior of the cement string could be directed through the fluid selector.

[0127] For added pressure increase, the plug 1222 can be mounted on a sealing or closing mechanism that seals the end of the cement string when cement flow increases the pressure drop across the plug. For example, the flow control system or systems can be mounted on a closing or sealing mechanism, such as a piston-cylinder system, flapper valve, ball valve or the like in which increased pressure closes the mechanism components. As above, the selector valve is open where the fluid is of a selected viscosity, such as brine, and little pressure drop occurs across the plug. When the closing mechanism is initially in an open position, the fluid flows through and past the closing mechanism and upwards through the interior passageway of the string. When the closing mechanism is moved to a closed position, fluid is prevented from flowing into the interior passageway from outside the string. When the mechanism is in the closed position, all of the pumping fluid or cement is directed through the flow control system 25.

[0128] When the fluid changes to a higher viscosity, a greater back-pressure is created on the fluid below the selector system 25. This pressure is then transferred to the closing mechanism. This increased pressure moves the closing mechanism to the closed position. Cement is thus prevented from flowing into the interior passageway of the cement string.

167
168

[0129] In another alternative, a pressure sensor system can be employed. When the fluid moving through the fluid amplifier system changes to a higher viscosity, due to the presence of cement in the fluid, the flow control system creates a greater back-pressure on the fluid as described above. This pressure increase is measured by the pressure sensor system and read at the surface. The operator then stops pumping cement knowing that the cement has filled the annulus and reached the bottom of the cement string.

[0130] Figure 23 shows a schematic view of a preferred embodiment of the invention. Note that the two inlets 54 and 56 to the vortex chamber 52 are not perfectly aligned to direct fluid flow perfectly tangentially (i.e., exactly 90 degrees to a radial line from the vortex center) nor perfectly radially (i.e., directly towards the center of the vortex), respectively. Instead, the two inlets 54 and 56 are directed in a rotation maximizing pathway and a rotation minimizing pathway, respectively. In many respects, Figure 23 is similar to Figure 12 and so will not be described at length here. Like numbers are used to Figure 12. Optimizing the arrangements of the vortex inlets is a step that can be carried out using, for example, Computational Flow Dynamics models.

[0131] Figures 24A-D shows other embodiments of the inventive pathway dependent resistance system. Figure 24A shows a pathway dependent resistance system with only one passageway 1354 entering the vortex chamber. The flow control system 1340 changes the entrance angle of the fluid as it enters the chamber 1352 from this single passageway. Fluid flow F through the fluid ratio controller passageways 1344 and 1346 will cause a different direction of the fluid jet at the outlet 1380 of the fluid ratio controller 1340. The angle of the jet will either cause rotation or will minimize rotation in the vortex chamber 1350 by the fluid before it exits the chamber at outlet 1358.

[0132] Figure 24B-C is another embodiment of the pathway dependent resistance system 1450, in which the two inlet passageways both enter the vortex chamber primarily tangentially. When the flow is balanced between the passages 1454 and 1456, as shown in Figure 24B, the resulting flow in the vortex chamber 1452 has minimal rotation before exiting outlet 1458. When the flow down one of the

169

passageways is greater than the flow down the other passage way, as shown in Figure 24C, the resulting flow in the vortex chamber 1452 will have substantial rotation prior to flowing through outlet 1458. The rotation in the flow creates back pressure on the fluid upstream in the system. Surface features, exit path orientation, and other fluid path features can be used to cause more flow resistance to one direction of rotation (such as counter-clockwise rotation) than to another direction of rotation (such as clockwise rotation).

[0133] In Figure 24D, multiple inlet tangential paths 1554 and multiple inlet radial paths 1556 are used to minimize the flow jet interference to the inlet of the vortex chamber 1552 in pathway dependent resistance system 1550. Thus, the radial path can be split into multiple radial inlet paths directed into the vortex chamber 1552. Similarly, the tangential path can be divided into multiple tangential inlet paths. The resultant fluid flow in the vortex chamber 1552 is determined at least in part by the entry angles of the multiple inlets. The system can be selectively designed to create more or less rotation of the fluid about the chamber 1552 prior to exiting through outlet 1558.

[0134] Note that in the fluid flow control systems described herein, the fluid flow in the systems is divided and merged into various streams of flow, but that the fluid is not separated into its constituent components; that is, the flow control systems are not fluid separators.

[0135] For example, where the fluid is primarily natural gas, the flow ratio between the first and second passageways may reach 2:1 since the first passageway provides relatively little resistance to the flow of natural gas. The flow ratio will lower, or even reverse, as the proportional amounts of the fluid components change. The same passageways may result in a 1:1 or even a 1:2 flow ratio where the fluid is primarily oil. Where the fluid has both oil and natural gas components the ratio will fall somewhere in between. As the proportion of the components of the fluid change over the life of the well, the flow ratio through the ratio control system will change. Similarly, the ratio will change if the fluid has both water and oil components based on the relative characteristic

of the water and oil components. Consequently, the fluid ratio control system can be designed to result in the desired fluid flow ratio.

[0136] The flow control system is arranged to direct flow of fluid having a larger proportion of undesired component, such as natural gas or water, into the vortex chamber primarily tangentially, thereby creating a greater back-pressure on the fluid than if it was allowed to flow upstream without passing through the vortex chamber. This back-pressure will result in a lower production rate of the fluid from the formation along the production interval than would occur otherwise.

[0137] For example, in an oil well, natural gas production is undesired. As the proportion of natural gas in the fluid increases, thereby reducing the viscosity of the fluid, a greater proportion of fluid is directed into the vortex chamber through the tangential inlet. The vortex chamber imparts a back-pressure on the fluid thereby restricting flow of the fluid. As the proportion of fluid components being produced changes to a higher proportion of oil (for example, as a result of oil in the formation reversing a gas draw-down), the viscosity of the fluid will increase. The fluid ratio system will, in response to the characteristic change, lower or reverse the ratio of fluid flow through its first and second passageways. As a result, a greater proportion of the fluid will be directed primarily radially into the vortex chamber. The vortex chamber offers less resistance and creates less back-pressure on fluid entering the chamber primarily radially.

[0138] The above example refers to restricting natural gas production where oil production is desired. The invention can also be applied to restrict water production where oil production is desired, or to restrict water production when gas production is desired.

[0139] The flow control system offers the advantage of operating autonomously in the well. Further, the system has no moving parts and is therefore not susceptible to being "stuck" as fluid control systems with mechanical valves and the like. Further, the flow control system will operate regardless of the orientation of the system in the wellbore, so the tubular containing the system need not be oriented in the wellbore. The system will operate in a vertical or deviated wellbore.

170
171

[0140] While the preferred flow control system is completely autonomous, neither the inventive flow direction control system nor the inventive pathway dependent resistance system necessarily have to be combined with the preferred embodiment of the other. So one system or the other could have moving parts, or electronic controls, etc.

[0141] For example, while the pathway dependent resistance system is preferably based on a vortex chamber, it could be designed and built to have moving portions, to work with the ratio control system. To wit, two outputs from the ratio control system could connect to either side of a pressure balanced piston, thereby causing the piston to be able to shift from one position to another. One position would, for instance, cover an exit port, and one position would open it. Hence, the ratio control system does not have to have a vortex-based system to allow one to enjoy the benefit of the inventive ratio control system. Similarly, the inventive pathway dependent resistance system could be utilized with a more traditional actuation system, including sensors and valves. The inventive systems could also include data output subsystems, to send data to the surface, to allow operators to see the status of the system.

[0142] The invention can also be used with other flow control systems, such as inflow control devices, sliding sleeves, and other flow control devices that are already well known in the industry. The inventive system can be either parallel with or in series with these other flow control systems.

[0143] While this invention has been described with reference to illustrative embodiments, this description is not intended to be construed in a limiting sense. Various modifications and combinations of the illustrative embodiments as well as other embodiments of the invention, will be apparent to persons skilled in the art upon reference to the description. It is, therefore, intended that the appended claims encompass any such modifications or embodiments.

It is claimed:

1. An apparatus for controlling flow of fluid comprising:
a flow ratio control system having at least a first passageway and a second passageway, wherein the ratio of fluid flow through the first passageway and second passageway is related to the characteristic of the fluid flow and wherein the ratio of flow between the two passageways will alter with changes in the characteristic of the fluid flow, and wherein the output of the flow ratio control system is utilized to control a pathway dependent resistance system.
2. An apparatus as in claim 1, wherein the characteristic is viscosity.
3. An apparatus as in claim 1, wherein the characteristic is fluid flow rate.
4. An apparatus as in claim 1, wherein the characteristic is density.
5. An apparatus as in claim 2, wherein the first passageway of the fluid ratio control system is more viscosity-dependent than the second passageway.
6. An apparatus as in claim 5 wherein the first passageway of the fluid ratio control system has a consistent diameter along its length.
7. An apparatus as in claim 6 wherein the first passageway of the flow ratio control system will provide more resistance to fluid flow as the fluid viscosity increases.
8. An apparatus as in claim 6 wherein the first passageway of the fluid ratio control system is longer than the second passageway of the fluid ratio control system.
9. An apparatus as in claim 5 wherein the first passageway provides a tortuous flow path.
10. An apparatus as in claim 5 wherein the first passageway has a textured interior surface.
11. An apparatus as in claim 5 wherein the first passageway is made of a swellable material, the passageway constricting when the material swells.

12. An apparatus as in claim 5 wherein the swellable material swells when contacted by the fluid when an undesired component is present in the fluid.
13. An apparatus as in claim 5 wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid viscosity is higher than a target viscosity.
14. An apparatus as in claim 5 wherein the increase in resistance to fluid flow in the second passageway in response to an increase in viscosity of the fluid is less than the increase in resistance to fluid flow in the first passageway.
15. An apparatus as in claim 5 wherein the second passageway of the fluid ratio system provides substantially constant resistance to fluid flow regardless of changes in fluid viscosity.
16. An apparatus as in claim 15 wherein the second passageway has a plurality of flow restrictors therein.
17. An apparatus as in claim 16 wherein the flow restrictors are orifice plates.
18. An apparatus as in claim 14 wherein the second passageway further comprises a vortex diode.
19. An apparatus as in claim 1, wherein the pathway dependent resistance system will impart a back-pressure on fluid flowing through the apparatus.
20. An apparatus as in claim 1 wherein the pathway dependent resistance system further comprises a vortex assembly.
21. An apparatus as in claim 20 wherein the vortex assembly comprises a first and second inlet, a vortex chamber and an outlet.
22. An apparatus as in claim 21 wherein the first inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the first passageway of the flow ratio control system and wherein the second inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the second passageway of the flow ratio control system.

- 173
174
23. An apparatus as in claim 21 wherein the vortex assembly further comprises at least a second outlet.
24. An apparatus as in claim 22 wherein the first inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially.
25. An apparatus as in claim 22 wherein the second inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily radially.
26. An apparatus as in claim 24 wherein the first inlet directs fluid into the vortex chamber at an angle substantially normal to a radial line extending from the vortex outlet.
27. An apparatus as in claim 25 wherein the second inlet directs fluid into the vortex chamber substantially in line with the vortex outlet.
28. An apparatus as in claim 20 wherein the vortex assembly comprises a vortex chamber, at least one outlet, and multiple inlets which direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially.
29. An apparatus as in claim 28 wherein the vortex assembly further comprises multiple inlets which direct fluid into the vortex chamber primarily radially.
30. An apparatus as in claim 20 wherein the pathway dependent resistance system comprises at least two vortex assemblies connected in parallel.
31. An apparatus as in claim 30 wherein the pathway dependent resistance system comprises at least two vortex assemblies connected in series.
32. An apparatus as in claim 31 wherein the pathway dependent resistance system comprises a first and second vortex assemblies, each vortex assembly having a vortex chamber, a first and second inlets and an outlet, the first inlet of the second vortex assembly in fluid communication with the outlet of the first vortex assembly.
33. An apparatus as in claim 32 wherein the first inlet of the second vortex assembly directs fluid into the vortex chamber of the second vortex assembly primarily radially.

34. An apparatus as in claim 20 wherein the vortex assembly comprises a cylindrical vortex assembly.
35. An apparatus as in claim 1 further comprising a fluid amplifier system interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system and in fluid communication with both.
36. An apparatus as in claim 35 wherein the fluid amplifier system comprises a proportional amplifier.
37. An apparatus as in claim 35 wherein the fluid amplifier system comprises a pressure-type amplifier.
38. An apparatus as in claim 35 wherein the fluid amplifier system comprises a jet-type amplifier.
39. An apparatus as in claim 35 wherein the fluid amplifier system comprises a bistable amplifier.
40. An apparatus as in claim 35 wherein the fluid ratio system further comprises a primary flow passageway, the primary flow passageway in fluid communication with the fluid amplifier system.
41. An apparatus as in claim 40 wherein the primary passageway further comprises a vortex diode.
42. An apparatus as in claim 40 wherein the primary passageway will accommodate more fluid flow than either the first or second passageways.
43. An apparatus as in claim 40 wherein the primary passageway will accommodate more flow than the first and second passageways combined.
44. An apparatus as in claim 40 wherein the first and second passageways of the flow ratio control system will direct flow from the primary passageway.

45. An apparatus as in claim 1 further comprising multiple fluid amplifier systems interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system, the fluid amplifier systems arranged in series.
46. An apparatus as in claim 45 wherein the multiple fluid amplifier systems comprise at least one proportional amplifier and at least one bistable amplifier.
47. An apparatus as in claim 45 wherein the multiple fluid amplifier systems comprise at least one pressure-type amplifier and at least one bistable amplifier.
48. An apparatus as in claim 3, wherein the first passageway of the fluid ratio control system will provide less resistance than the second passageway to fluid flow as the flow rate increases.
49. An apparatus as in claim 3, wherein the second passageway of the fluid ratio control system will provide more resistance than the first passageway to fluid flow as the flow rate increases.
50. An apparatus as in claim 3, wherein the flow ratio control system comprises a bistable switch.
51. An apparatus as in claim 3, wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid flow rate is lower than a target flow rate.
52. An apparatus as in claim 3, wherein the second passageway of the fluid ratio system provides substantially constant resistance to fluid flow regardless of changes in fluid flow rate.
53. An apparatus as in claim 3, wherein the pathway dependent resistance system further comprises a vortex assembly having a first and second inlet, a vortex chamber and an outlet.
54. An apparatus as in claim 53, wherein the first inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the first passageway of the flow ratio control system and wherein the second inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the second passageway of the flow ratio control system.

55. An apparatus as in claim 54, wherein the first inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially, and wherein the second inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily radially.
56. An apparatus as in claim 3, further comprising a fluid amplifier system interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system and in fluid communication with both.
57. An apparatus as in claim 56 wherein the fluid ratio system further comprises a primary flow passageway, the primary flow passageway in fluid communication with the fluid amplifier system.
58. An apparatus as in claim 4, wherein the first passageway of the fluid ratio control is more density dependent than the second passageway.
59. An apparatus as in claim 58, wherein the second passageway will provide substantially constant resistance to fluid flow as the density changes.
60. An apparatus as in claim 58, wherein the second passageway will provide less resistance to fluid flow as the flow rate increases.
61. An apparatus as in claim 4, wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid density is higher than a target density.
62. An apparatus as in claim 68, wherein the pathway dependent resistance system further comprises a vortex assembly having a first and second inlet, a vortex chamber and an outlet.
63. An apparatus as in claim 62, wherein the first inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the first passageway of the flow ratio control system and wherein the second inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the second passageway of the flow ratio control system.
64. An apparatus as in claim 63, wherein the first inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially, and wherein the second inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily radially.

- 177
178
65. An apparatus as in claim 58, further comprising a fluid amplifier system interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system and in fluid communication with both.
66. An apparatus as in claim 65 wherein the fluid ratio system further comprises a primary flow passageway, the primary flow passageway in fluid communication with the fluid amplifier system.
67. An apparatus as in claim 1 wherein the apparatus is an oilfield tubular for positioning downhole in a wellbore extending through a subterranean formation.
68. An apparatus as in claim 67, wherein the flow control system is positioned in the wall of the oilfield tubular.
69. An apparatus as in claim 68, wherein the oilfield tubular has an interior passageway in fluid communication with the flow ratio control system.
70. An apparatus as in claim 69, wherein formation fluid will flow from the formation into the tubular interior passageway.
71. An apparatus as in claim 69, wherein the apparatus is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects oil production over natural gas production.
72. An apparatus as in claim 69, wherein the apparatus is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects natural gas production over water production.
73. An apparatus as in claim 69, wherein the apparatus is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects oil production over water production.
74. An apparatus as in claim 71, wherein the apparatus will provide higher resistance to flow as the composition of the formation fluid changes to a higher percentage of natural gas.
75. An apparatus as in claim 5, wherein the flow control system is positioned in an oilfield tubular, and wherein the apparatus is for controlling production fluid flow, and

wherein the apparatus will increase resistance to fluid flow when the formation fluid reaches a target percentage composition of natural gas.

76. An apparatus as in claim 48, wherein the flow control system is positioned in an oilfield tubular, and wherein the apparatus is for controlling production fluid flow, and wherein the apparatus selects oil production over natural gas production.

77. An apparatus as in claim 58, wherein the flow control system is positioned in an oilfield tubular, and wherein the apparatus is for controlling production fluid flow, and wherein the apparatus selects oil production over natural gas production.

78. An apparatus as in claim 68, further comprising a plurality of flow ratio control systems and pathway dependent resistance systems.

79. An apparatus as in claim 48, wherein the flow control system is positioned in an oilfield tubular, and wherein the apparatus is for controlling production fluid flow, and wherein the apparatus will provide increased resistance to flow when flow rate is above a target flow rate.

80. An apparatus as in claim 67, the apparatus for injecting injection fluid from the oilfield tubular into the formation.

81. An apparatus as in claim 80, wherein the apparatus is for controlling injection of the injection fluid into the formation.

82. An apparatus as in claim 81, wherein the injection fluid is steam.

83. An apparatus as in claim 81, wherein the injection fluid is carbon dioxide.

84. An apparatus as in claim 82, wherein the apparatus selects injection of steam over injection of water.

85. An apparatus as in claim 84, wherein the apparatus will provide lower resistance to flow as the composition of the injection fluid changes to a higher percentage of steam.

86. An apparatus as in claim 5, wherein the apparatus is an oilfield tubular for positioning downhole in a wellbore extending through a subterranean formation, and

wherein the apparatus is for controlling injection fluid flow, and wherein the apparatus will decrease resistance to injection fluid flow when the injection fluid reaches a target percentage composition of steam.

87. An apparatus as in claim 48, wherein the apparatus is an oilfield tubular for positioning downhole in a wellbore extending through a subterranean formation, and wherein the apparatus is for controlling injection fluid flow, and wherein the apparatus will decrease resistance to injection fluid flow when the injection fluid falls below a target flow rate.

88. An apparatus as in claim 58, wherein the apparatus is an oilfield tubular for positioning downhole in a wellbore extending through a subterranean formation, and wherein the apparatus is for controlling injection fluid flow, and wherein the apparatus will decrease resistance to injection fluid flow when the density of the injection fluid falls below a target density.

89. An apparatus as in claim 67, wherein the apparatus is for controlling flow of cementing fluid from the exterior of the oilfield tubular to the interior of the oilfield tubular during reverse cementing.

90. An apparatus as in claim 89, wherein the apparatus will provide higher resistance to flow of cementing fluid as the composition of the cementing fluid changes to a higher viscosity.

91. An apparatus as in claim 89, wherein the apparatus will provide higher resistance to flow of cementing fluid as the composition of the cementing fluid changes to a higher density.

92. An apparatus as in claim 89, wherein the apparatus will provide higher resistance to flow of cementing fluid as the composition of the cementing fluid changes to a higher flow rate.

93. An apparatus as in claim 89, further comprising a movable plug mounted in an interior passageway of the oilfield tubular and operable to restrict fluid flow into the interior passageway.

94. An apparatus as in claim 97, wherein the flow ratio control system and pathway dependent resistance system are positioned within the movable plug.
95. An apparatus as in claim 71, further comprising a screen assembly for sand control.
96. An apparatus as in claim 71, further comprising an inflow control device in fluid communication with the flow ratio control system.
97. An apparatus as in claim 71, further comprising a plurality of apparatus spaced along the wellbore.
98. An apparatus as in claim 97, wherein the plurality of apparatus are positioned in a production string, the production string for extending through the wellbore along a production zone of the formation.
99. An apparatus as in claim 3, wherein the first passageway will provide a greater rate of increase in resistance in response to increased flow rate than the second passageway.
100. An apparatus as in claim 3, wherein the second passageway will provide a lesser rate of increase in resistance in response to increased flow rate than the first passageway.
101. A pathway dependent resistance system, comprising:
a vortex chamber;
at least a first inlet; and
an outlet, the first inlet of the pathway dependent resistance system in fluid communication with a flow direction control system, the flow from the flow direction control system affecting direction flow takes into the pathway dependent resistance system.
102. An apparatus as in claim 101, wherein the direction fluid flow takes into the pathway dependent resistance system is dependent on fluid viscosity.

103. An apparatus as in claim 101, wherein the direction fluid flow takes into the pathway dependent resistance system is dependent on fluid flow rate.
104. An apparatus as in claim 101, wherein the direction fluid flow takes into the pathway dependent resistance system is dependent on fluid density.
105. An apparatus as in claim 102, wherein the pathway dependent resistance system comprises a first and second inlet.
106. An apparatus as in claim 101 wherein the vortex assembly further comprises at least a second outlet.
107. An apparatus as in claim 105 wherein the first inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially.
108. An apparatus as in claim 105 wherein the second inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily radially.
109. An apparatus as in claim 101 wherein the at least one inlet comprises multiple inlets which direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially.
110. An apparatus as in claim 101 wherein the at least one inlet comprises multiple inlets which direct fluid into the vortex chamber primarily radially.
111. An apparatus as in claim 101 wherein the at least one inlet comprises at least one inlet for directing fluid into the vortex chamber primarily radially and at least one inlet for directing fluid into the vortex chamber primarily tangentially.
112. An apparatus as in claim 101, further comprising a second vortex chamber, second vortex chamber outlet, and second vortex chamber inlet, the second vortex chamber inlet in fluid communication with the pathway dependent resistance system outlet.
113. An apparatus as in claim 112 wherein the inlet of the second vortex assembly directs fluid into the vortex chamber of the second vortex assembly primarily radially.

114. An apparatus as in claim 112, further comprising a second inlet to the second vortex chamber.
115. An apparatus as in claim 101 wherein the vortex chamber comprises a cylindrical vortex chamber.
116. An apparatus as in claim 101, wherein the flow direction control system comprises multiple passageways.
117. An apparatus as in claim 116, wherein the multiple passageways are in fluid communication with the pathway dependent resistance system inlet.
118. An apparatus as in claim 101, wherein the flow direction control system comprises a flow ratio control system having at least a first and second passageway.
119. An apparatus as in claim 118, wherein the first passageway of the fluid ratio control system is more viscosity-dependent than the second passageway.
120. An apparatus as in claim 119 wherein the first passageway of the flow ratio control system will provide a greater increase in resistance to fluid flow than the second passageway as the fluid viscosity increases.
121. An apparatus as in claim 119 wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid viscosity is higher than a target viscosity.
122. An apparatus as in claim 119 wherein the second passageway of the fluid ratio system provides substantially constant resistance to fluid flow regardless of changes in fluid viscosity.
123. An apparatus as in claim 119 wherein the second passageway further comprises a vortex diode.
124. An apparatus as in claim 101, wherein the pathway dependent resistance system will impart a back-pressure on fluid flowing through the apparatus.

125. An apparatus as in claim 118, wherein the first passageway of the flow ratio control system is in fluid communication with the first inlet of the pathway dependent resistance system.

126. An apparatus as in claim 125, wherein the second passageway of the flow ratio control system is in fluid communication with a second inlet of the pathway dependent resistance system.

127. An apparatus as in claim 125, wherein the first and second passageways of the flow ratio control system are both in fluid communication with the first inlet of the pathway dependent resistance system.

128. An apparatus as in claim 103, wherein the fluid will flow into the vortex chamber primarily radially when the fluid flow rate is below a target rate.

129. An apparatus as in claim 128, wherein the fluid will flow into the vortex chamber primarily tangentially when the fluid flow rate is above a target rate.

130. An apparatus as in claim 129, wherein the fluid will continue to flow into the vortex chamber primarily tangentially when the fluid flow rate increases above a target rate and then decreases below the target rate.

131. An apparatus as in claim 103, wherein the flow direction control system comprises a flow ratio system having at least a first and second passageway.

132. An apparatus as in claim 131, wherein the flow ratio system comprises a bistable switch.

133. An apparatus as in claim 131, wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid flow rate is lower than a target flow rate.

134. An apparatus as in claim 131, wherein the second passageway of the fluid ratio system provides substantially constant resistance to fluid flow regardless of changes in fluid flow rate.

135. An apparatus as in claim 131, wherein the first inlet of the pathway dependent resistance system is in fluid communication with the first passageway of the flow ratio control system.
136. An apparatus as in claim 135, wherein the pathway dependent resistance system has a second inlet and the second inlet is in fluid communication with the second passageway of the flow ratio control system.
137. An apparatus as in claim 131, further comprising a fluid amplifier system interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system and in fluid communication with both.
138. An apparatus as in claim 137, wherein the fluid ratio system further comprises a primary flow passageway, the primary flow passageway in fluid communication with the fluid amplifier system.
139. An apparatus as in claim 104, wherein the fluid will flow into the vortex chamber primarily radially when the fluid density is above a target rate.
140. An apparatus as in claim 139, wherein the fluid will flow into the vortex chamber primarily tangentially when the fluid density is below a target rate.
141. An apparatus as in claim 104, wherein the flow direction control system comprises a flow ratio system having at least a first and second passageway.
142. An apparatus as in claim 141, wherein the first passageway of the fluid ratio control is more density dependent than the second passageway.
143. An apparatus as in claim 141, wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less of an increase in resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid density increases.
144. An apparatus as in claim 101, wherein the pathway dependent resistance system is positioned in an oilfield tubular for positioning downhole in a wellbore extending through a subterranean formation.

145. An apparatus as in claim 144, wherein the pathway dependent resistance system is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects natural gas production over water production.
146. An apparatus as in claim 144, wherein the pathway dependent resistance system is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects oil production over water production.
147. An apparatus as in claim 144, wherein the pathway dependent resistance system is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects oil production over natural gas production.
148. An apparatus as in claim 144, wherein the pathway dependent resistance system is for controlling the injection of injection fluid into the formation.
149. An apparatus as in claim 148, wherein the injection fluid is steam.
150. An apparatus as in claim 149, wherein the pathway dependent resistance system selects injection of steam over injection of water.
151. An apparatus as in claim 150, wherein the pathway dependent resistance system will provide lower resistance to flow as the composition of the injection fluid changes to a higher percentage of steam.
152. A flow control system, comprising:
a flow ratio control system having at least a first passageway and a second passageway, wherein the ratio of fluid flow through the first passageway and second passageway is related to the characteristic of the fluid flow; and
a pathway dependent resistance system having a vortex chamber with at least a first inlet and an outlet, the first inlet of the pathway dependent resistance system in fluid communication with either the first or second passageway or both of the fluid ratio control system, variations in the ratio of flow coming from the first and second passageway affecting the relative resistance of the total fluid moving through the pathway dependent resistance system.

153. An apparatus as in claim 152, wherein the characteristic is viscosity.
154. An apparatus as in claim 152, wherein the characteristic is fluid flow rate.
155. An apparatus as in claim 152, wherein the characteristic is density.
156. An apparatus as in claim 153, wherein the first passageway of the fluid ratio control system is more viscosity-dependent than the second passageway.
157. An apparatus as in claim 156 wherein the first passageway of the fluid ratio control system has a consistent diameter along its length.
158. An apparatus as in claim 156 wherein the first passageway of the flow ratio control system will provide a greater increase in resistance to fluid flow than the second passageway as the fluid viscosity increases.
159. An apparatus as in claim 153 wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid viscosity is higher than a target viscosity.
160. An apparatus as in claim 156 wherein the second passageway of the fluid ratio system provides substantially constant resistance to fluid flow regardless of changes in fluid viscosity.
161. An apparatus as in claim 156 wherein the second passageway further comprises a vortex diode.
162. An apparatus as in claim 152, wherein the pathway dependent resistance system will impart a back-pressure on fluid flowing through the apparatus.
163. An apparatus as in claim 152 wherein the first inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the first passageway of the flow ratio control system and wherein the second inlet of the vortex assembly is in fluid communication with the second passageway of the flow ratio control system.

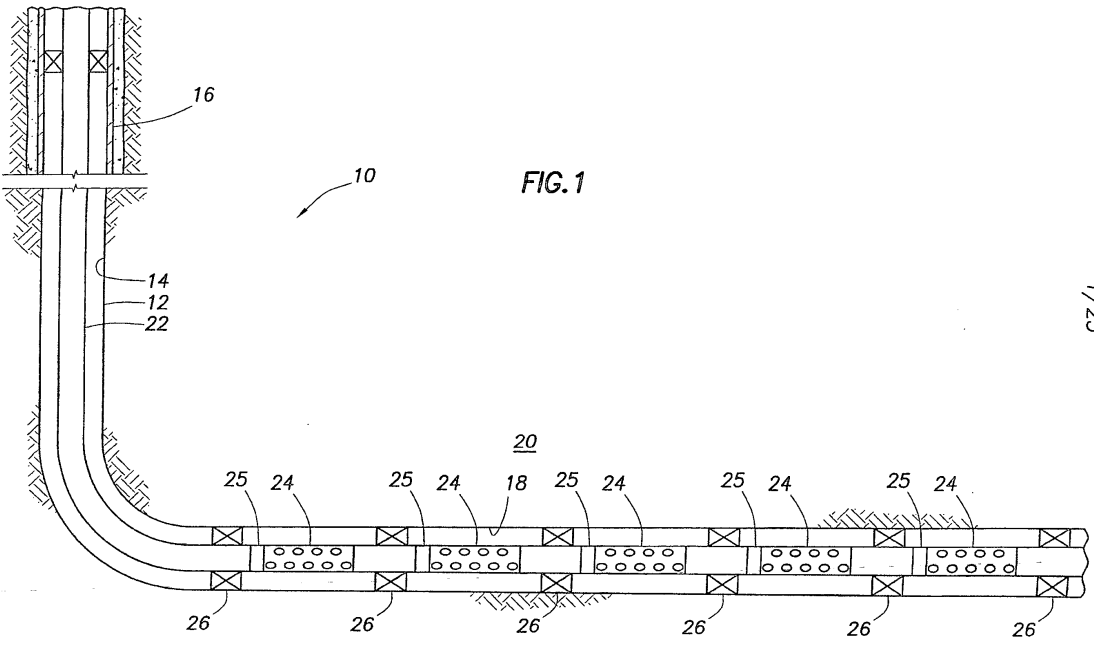
164. An apparatus as in claim 152 wherein the vortex assembly further comprises at least a second outlet.
165. An apparatus as in claim 152 wherein the first inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily tangentially.
166. An apparatus as in claim 165 wherein the second inlet of the vortex assembly will direct fluid into the vortex chamber primarily radially.
167. An apparatus as in claim 152 wherein the vortex chamber comprises a cylindrical vortex chamber.
168. An apparatus as in claim 152 further comprising a fluid amplifier system interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system and in fluid communication with both.
169. An apparatus as in claim 168 wherein the fluid amplifier system comprises a proportional amplifier.
170. An apparatus as in claim 168 wherein the fluid amplifier system comprises a bistable amplifier.
171. An apparatus as in claim 168 wherein the fluid ratio system further comprises a primary flow passageway, the primary flow passageway in fluid communication with the fluid amplifier system.
172. An apparatus as in claim 171 wherein the first and second passageways of the flow ratio control system will direct flow from the primary passageway.
173. An apparatus as in claim 152 further comprising multiple fluid amplifier systems interposed between the fluid ratio system and the pathway dependent resistance system, the fluid amplifier systems arranged in series.
174. An apparatus as in claim 154, wherein the first passageway of the fluid ratio control system will provide a lesser increase in resistance than the second passageway to fluid flow as the flow rate increases.

175. An apparatus as in claim 154, wherein the flow ratio control system comprises a bistable switch.
176. An apparatus as in claim 154, wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid flow rate is lower than a target flow rate.
177. An apparatus as in claim 154, wherein the second passageway of the fluid ratio system provides substantially constant resistance to fluid flow regardless of changes in fluid flow rate.
178. An apparatus as in claim 155, wherein the first passageway of the fluid ratio control is more density-dependent than the second passageway.
179. An apparatus as in claim 178, wherein the second passageway will provide substantially constant resistance to fluid flow as the density changes.
180. An apparatus as in claim 154, wherein the second passageway of the fluid ratio system will provide less resistance to fluid flow than the first passageway when the fluid density is higher than a target density.
181. An apparatus as in claim 152 wherein the flow control system is positioned in an oilfield tubular for positioning downhole in a wellbore extending through a subterranean formation.
182. An apparatus as in claim 181, wherein the oilfield tubular has an interior passageway in fluid communication with the flow ratio control system.
183. An apparatus as in claim 182, wherein formation fluid will flow from the formation into the tubular interior passageway.
184. An apparatus as in claim 181, wherein the flow control system is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects oil production over natural gas production.

185. An apparatus as in claim 181, wherein the flow control system is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects natural gas production over water production.
186. An apparatus as in claim 181, wherein the flow control system is for controlling production fluid flow and wherein the apparatus selects oil production over water production.
187. An apparatus as in claim 184, wherein the flow control system will provide higher resistance to flow as the composition of the formation fluid changes to a higher percentage of natural gas.
188. An apparatus as in claim 181, further comprising a plurality of flow control systems.
189. An apparatus as in claim 181, the flow control system for controlling injection of injection fluid from the oilfield tubular into the formation.
190. An apparatus as in claim 189, wherein the flow control system selects injection of steam over injection of water.
191. An apparatus as in claim 181, wherein the flow control system is for controlling flow of cementing fluid from the exterior of the oilfield tubular to the interior of the oilfield tubular during reverse cementing.
192. An apparatus as in claim 191, wherein the flow control system will provide higher resistance to flow of cementing fluid as the composition of the cementing fluid changes to a higher viscosity.
193. An apparatus as in claim 191, wherein the flow control system will provide higher resistance to flow of cementing fluid as the composition of the cementing fluid changes to a higher density.
194. An apparatus as in claim 191, wherein the flow control system will provide higher resistance to flow of cementing fluid as the composition of the cementing fluid changes to a higher flow rate.

195. An apparatus as in claim 191, further comprising a movable plug mounted in an interior passageway of the oilfield tubular and operable to restrict fluid flow into the interior passageway.
196. An apparatus as in claim 191, wherein the flow ratio control system and pathway dependent resistance system are positioned within the movable plug.
197. An apparatus as in claim 181, further comprising a screen assembly for sand control.
198. An apparatus as in claim 181, further comprising an inflow control device in fluid communication with the flow ratio control system.
199. An apparatus as in claim 181, further comprising a plurality of flow control systems spaced along the wellbore.
200. An apparatus as in claim 199, wherein the plurality of flow control systems are positioned in a production string, the production string for extending through the wellbore along a production zone of the formation.

1/23



2/23

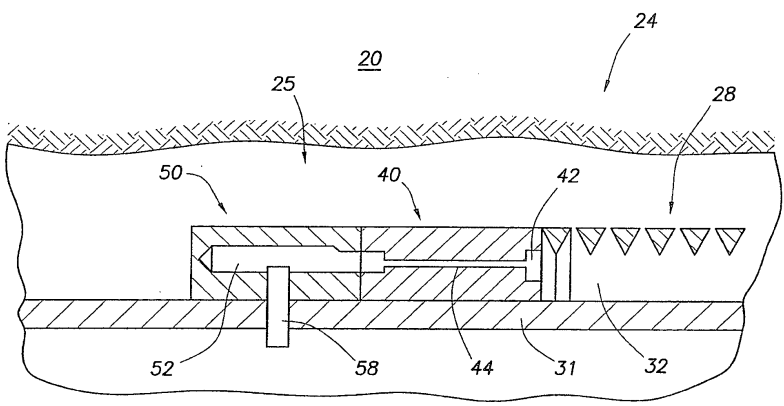


FIG.2

3/23

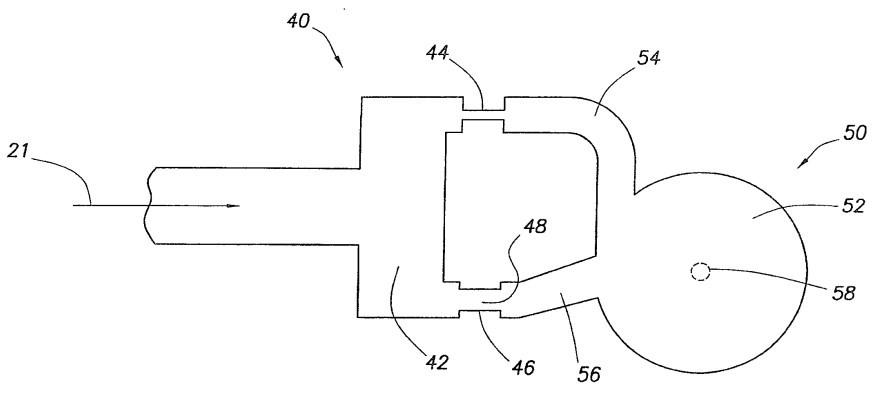


FIG.3

4/23

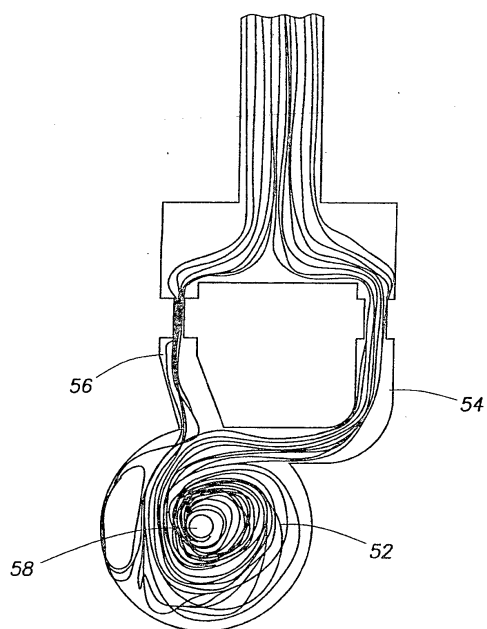


FIG. 4A

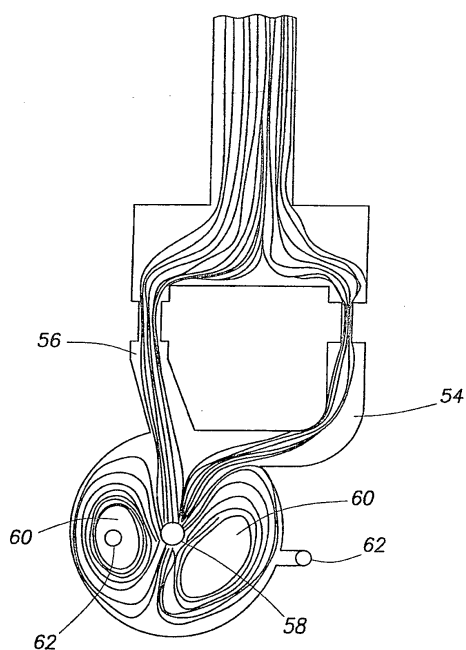
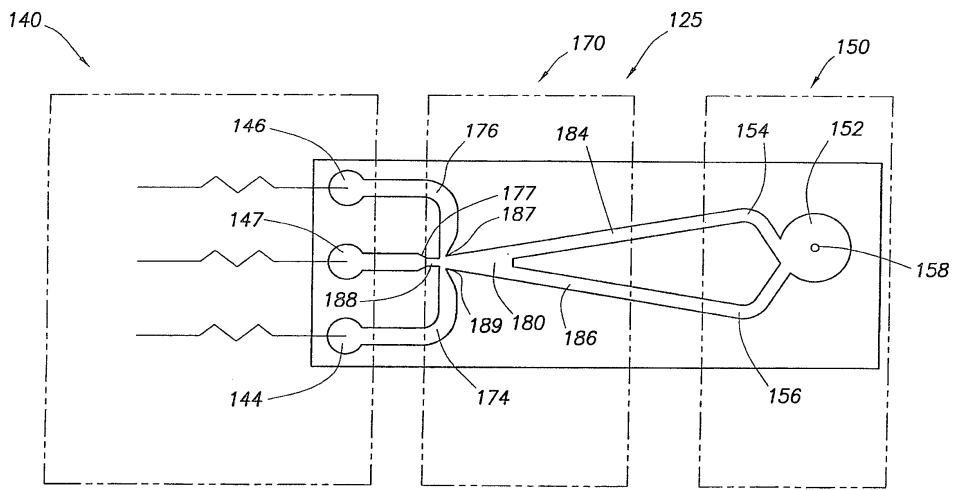


FIG. 4B



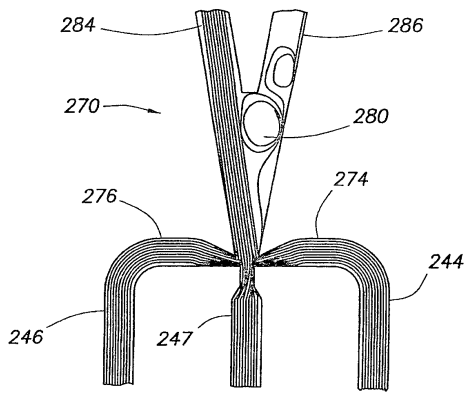


FIG. 6A

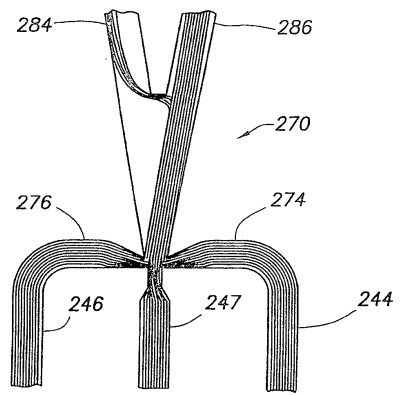


FIG. 6B

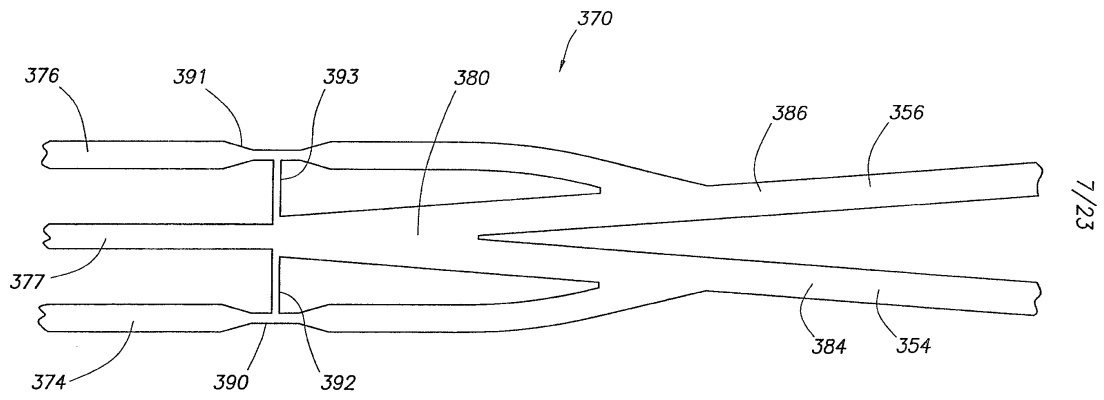


FIG. 7

8/23

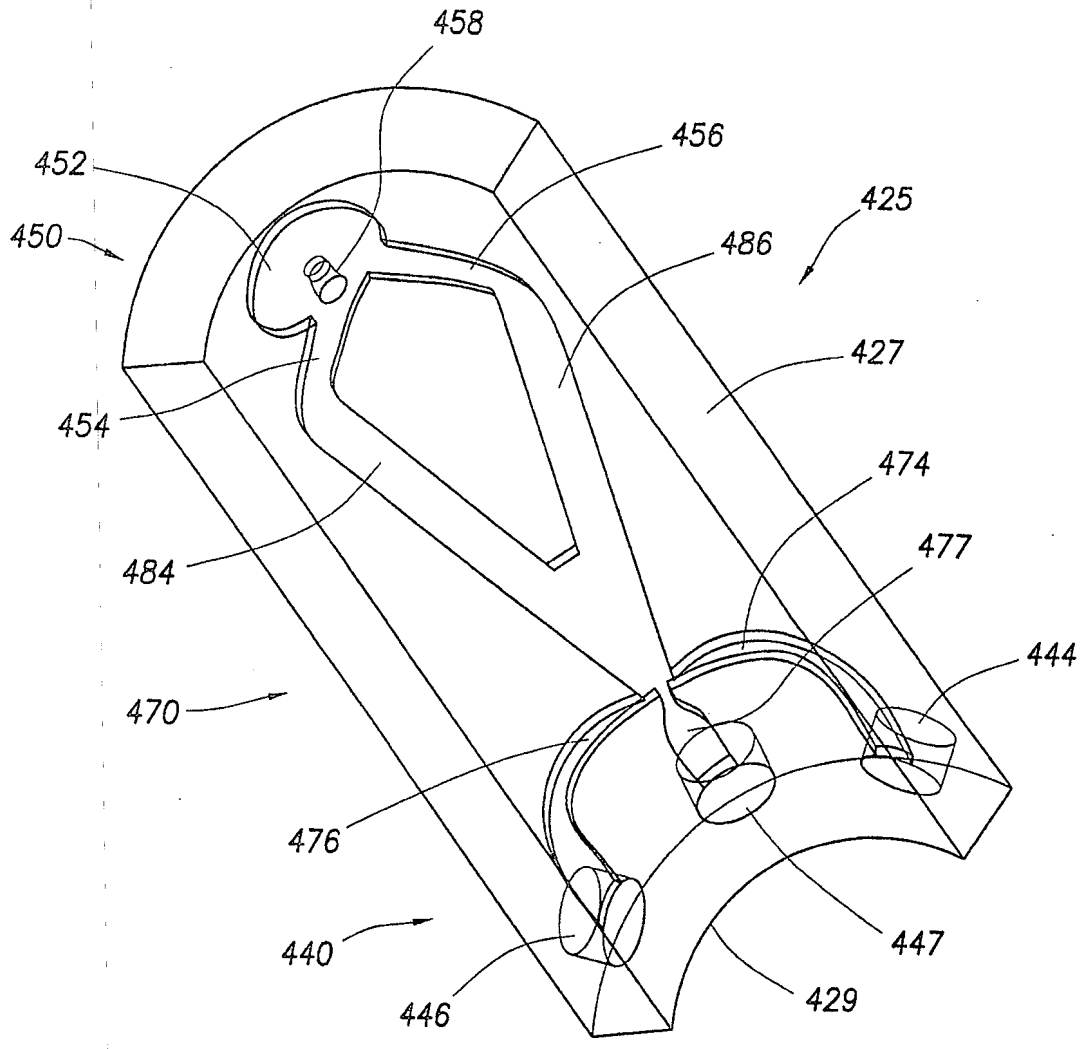


FIG. 8

9/23

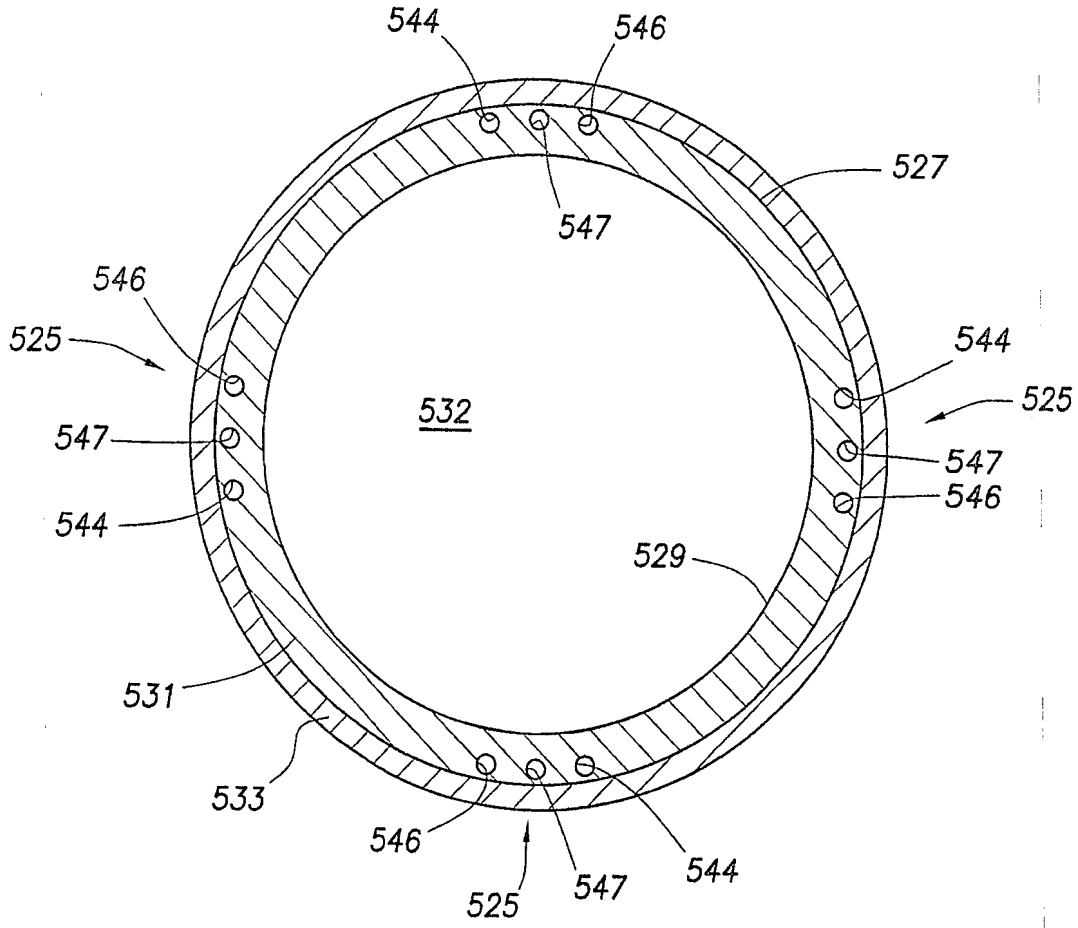
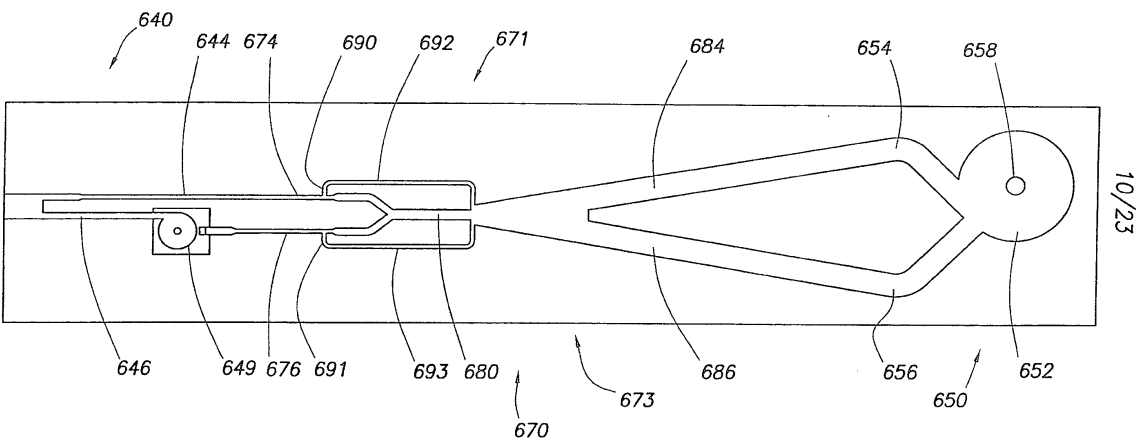
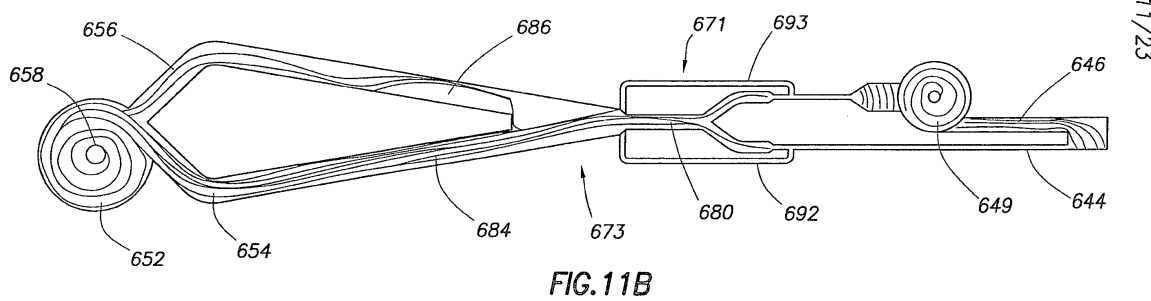
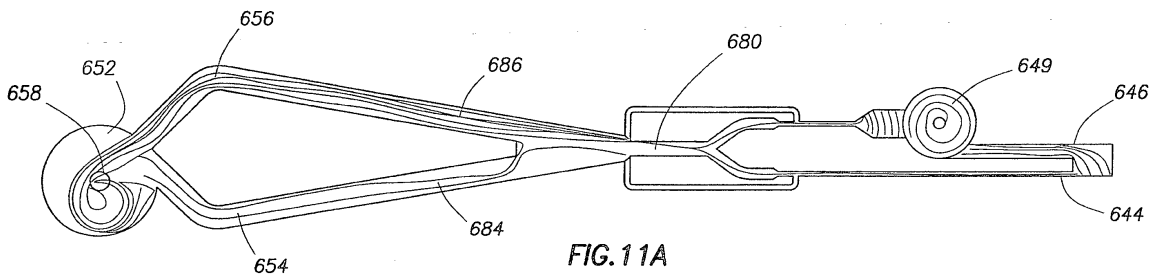


FIG. 9





11/23

13/23

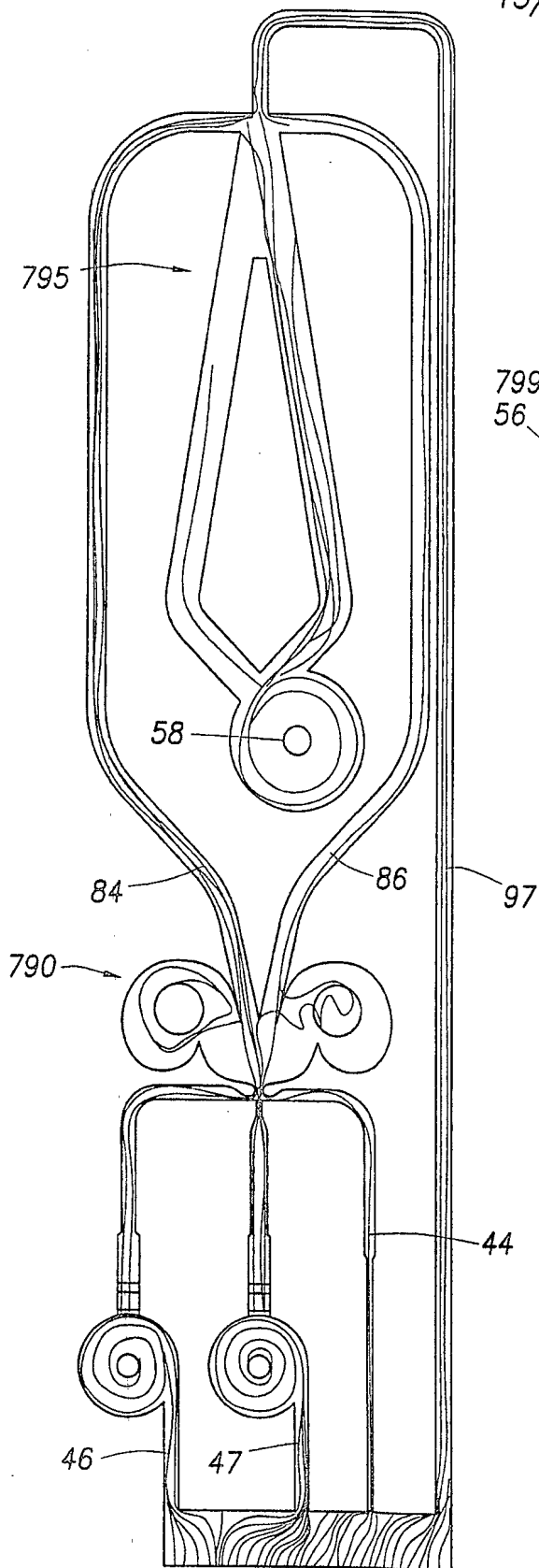


FIG. 13A

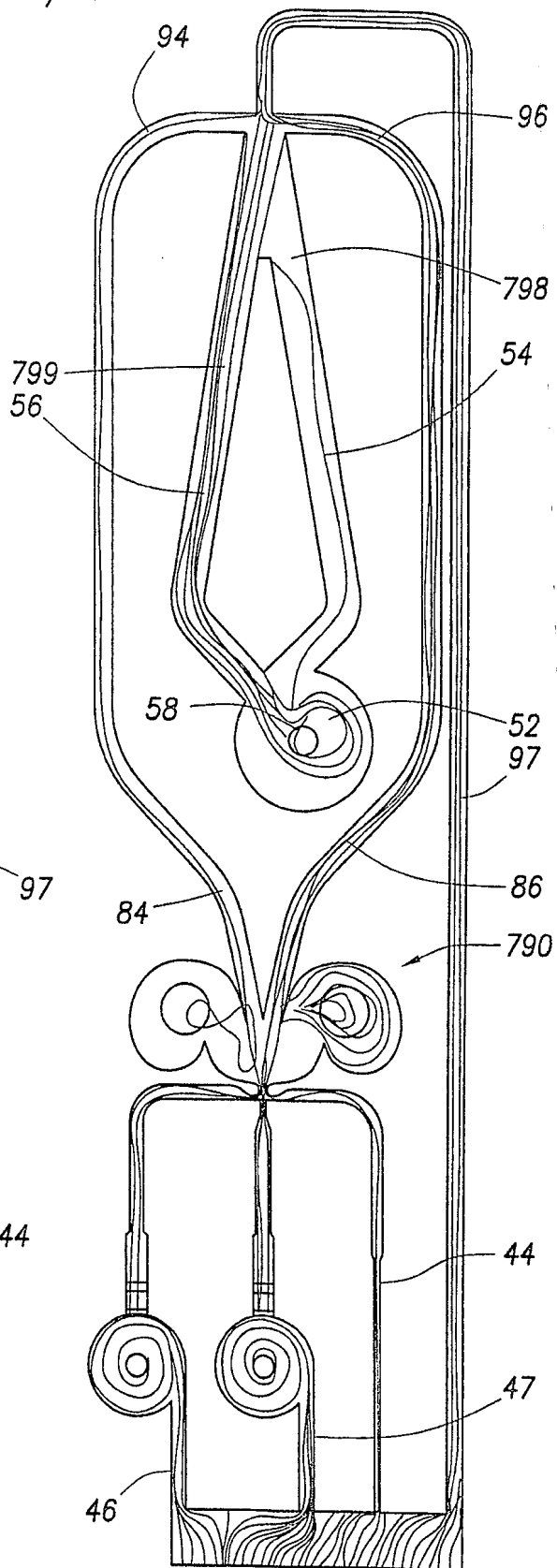


FIG. 13B

14/23

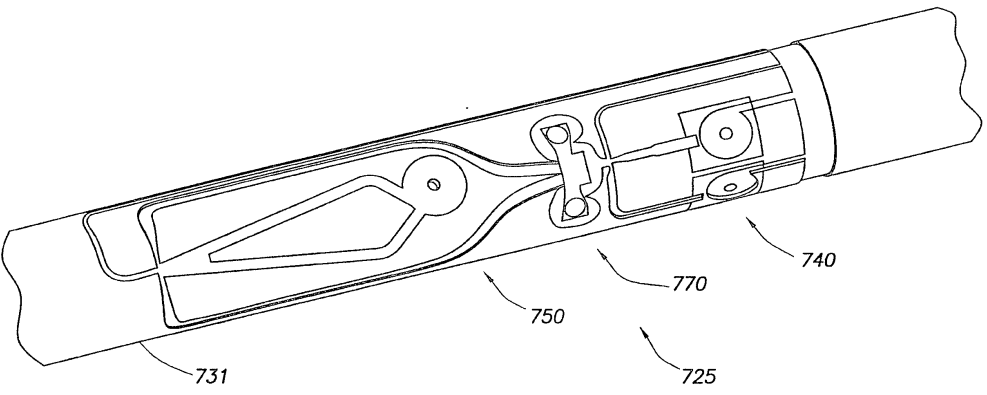


FIG. 14

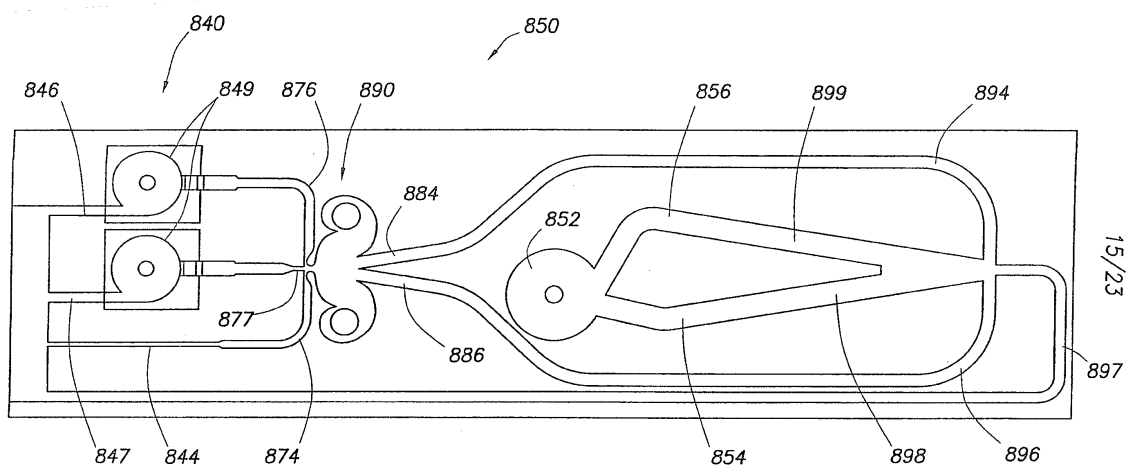
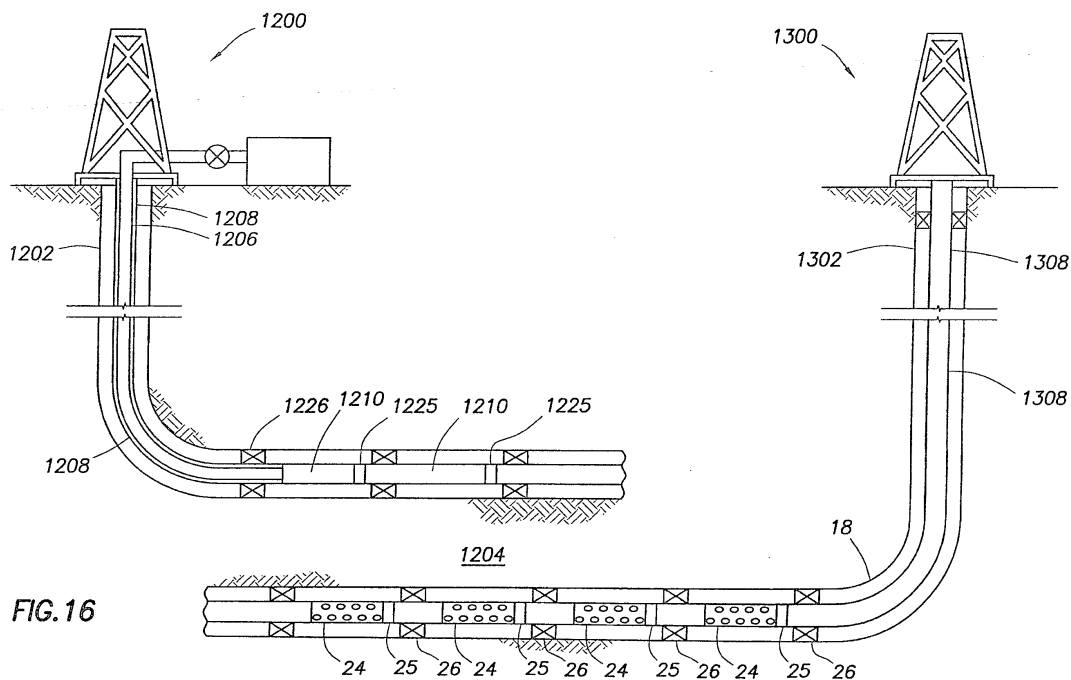


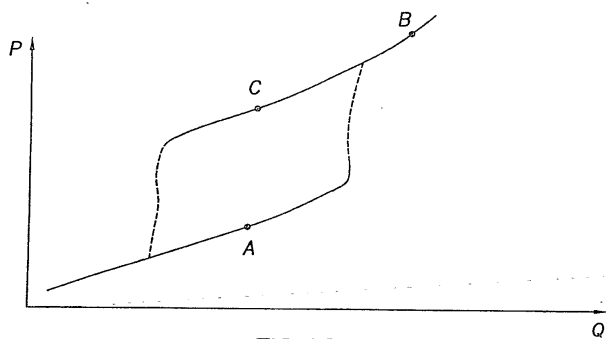
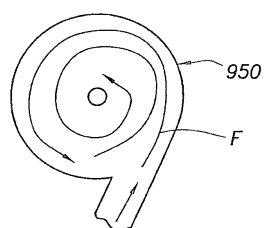
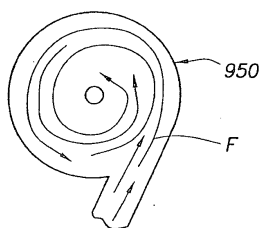
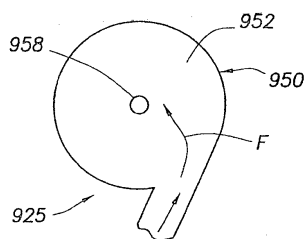
FIG.15

15/23

16/23



17/23



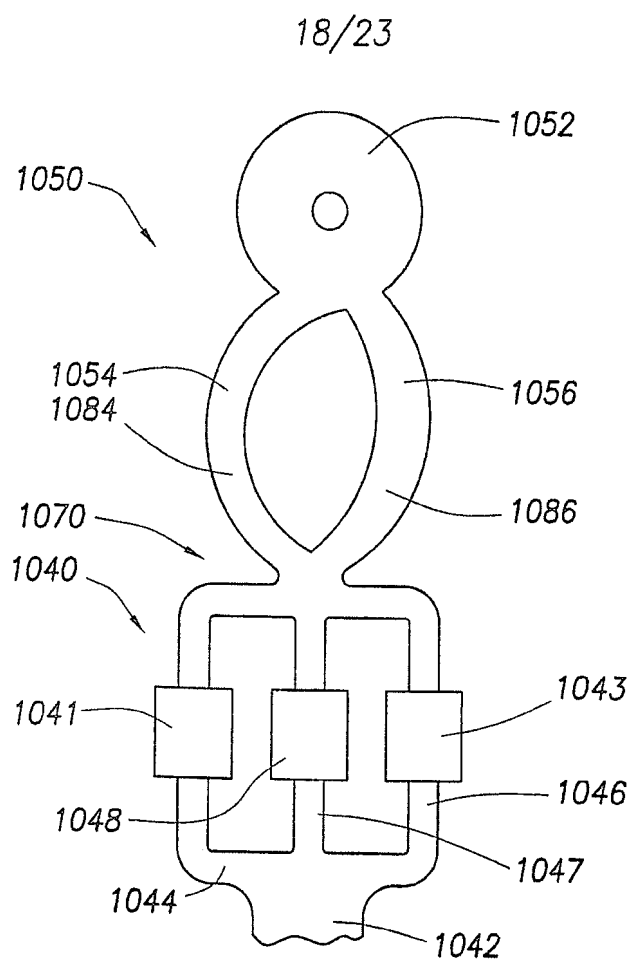


FIG.19

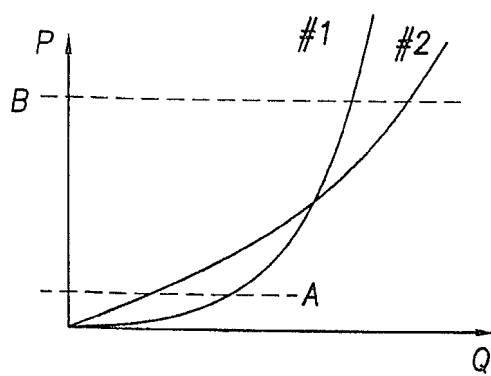


FIG.20

19/23

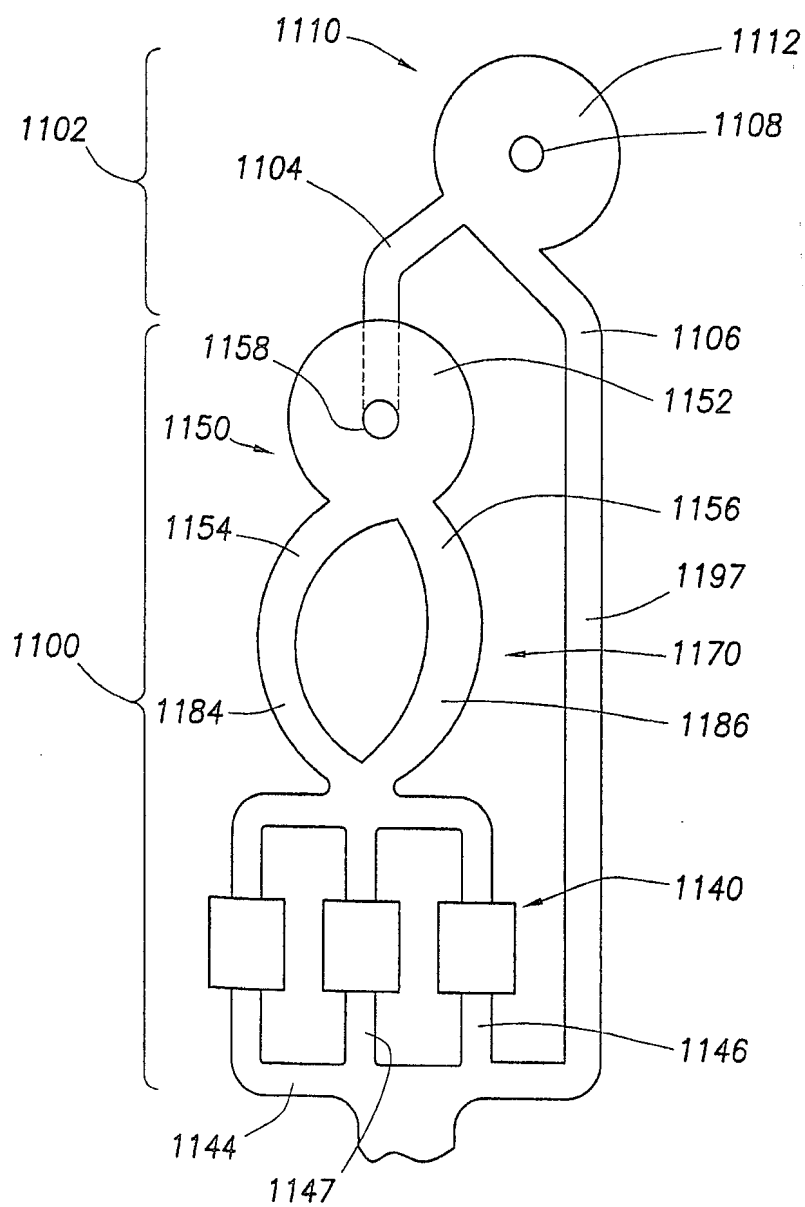


FIG. 21

20/23

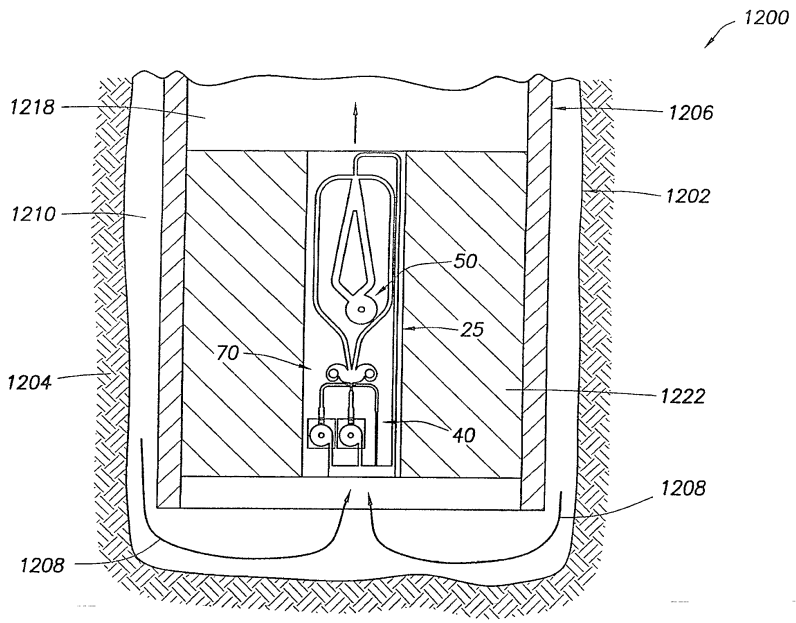


FIG.22

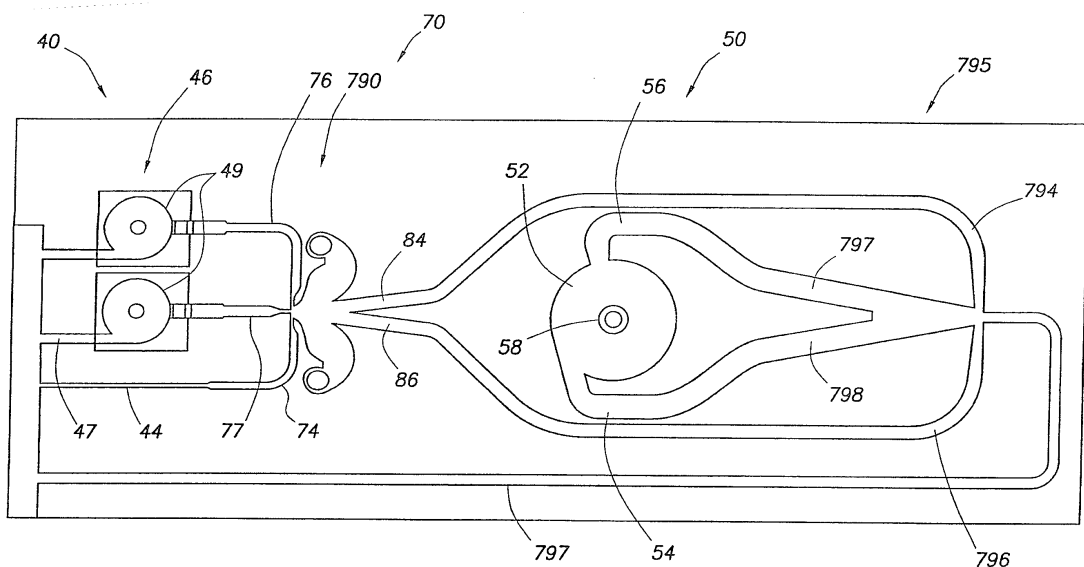


FIG. 23

21/23

22/23

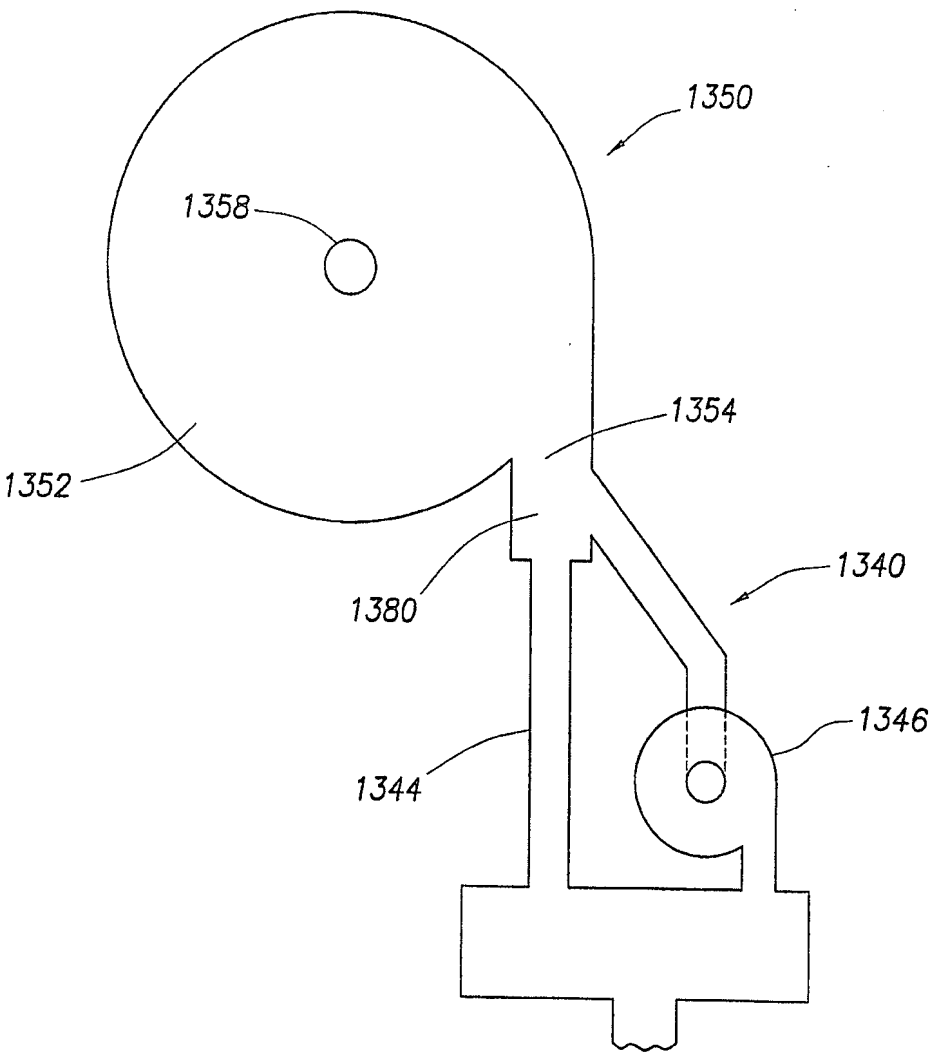


FIG. 24A

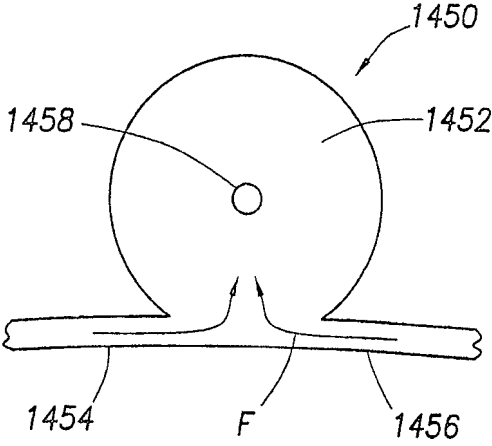


FIG. 24B

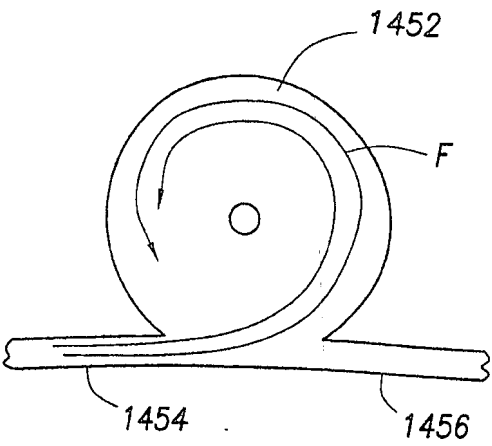


FIG. 24C

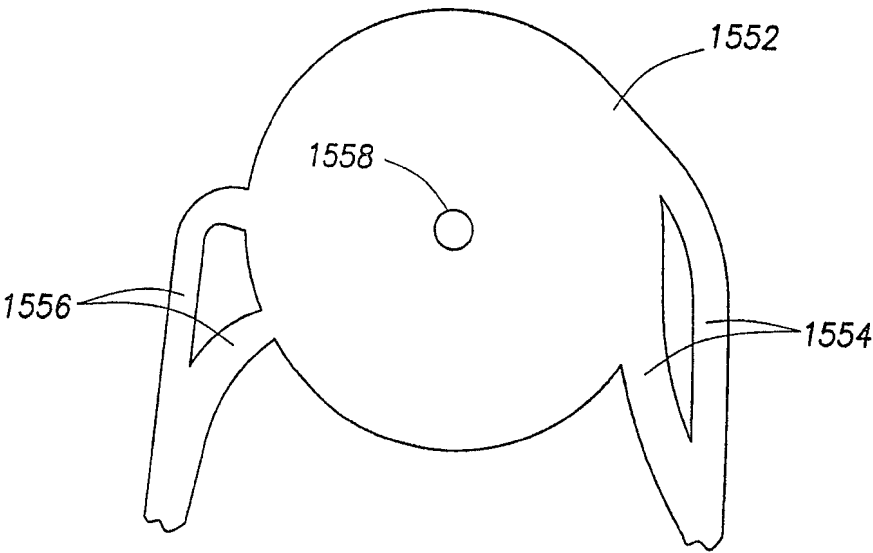


FIG. 24D

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

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
11 August 2011 (11.08.2011)

(10) International Publication Number
WO 2011/097101 A1

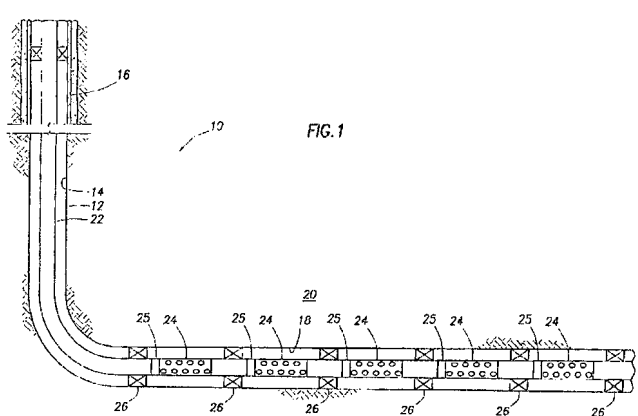
- (51) International Patent Classification:
E21B 43/12 (2006.01) *E21B 21/08* (2006.01)
- (21) International Application Number:
PCT/US2011/022617
- (22) International Filing Date:
26 January 2011 (26.01.2011)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
12/700,685 4 February 2010 (04.02.2010) US
- (71) Applicant (for all designated States except US): **HAL-LIBURTON ENERGY SERVICES, INC.** [US/US]; 10200 Bellaire Boulevard, Houston, TX 77072 (US).
- (72) Inventors; and
- (75) Inventors/Applicants (for US only): **DYKSTRA, Jason, D.** [US/US]; 3405 Hillpark Lane, Carrollton, TX 75007 (US). **FRIPP, Michael, Linley** [US/US]; 3826 Cemetery Hill Road, Carrollton, TX 75007 (US). **DEJESUS, Orlando** [VE/US]; 1421 Flowers Drive, Carrollton, TX 75007 (US). **GANO, John, C.** [US/US]; 2015 White Ash Rd., Carrollton, TX 75007 (US). **HOLDERMAN, Luke** [US/US]; 3709 Campstone, Plano, TX 75023 (US).

- (74) Agent: **SCHROEDER, Peter, V.**; Booth Albanesi Schroeder, LLC, 1601 Elm Street, Ste. 1950, Dallas, TX 75201 (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, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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:
— with international search report (Art. 21(3))

[Continued on next page]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR AUTONOMOUS DOWNHOLE FLUID SELECTION WITH PATHWAY DEPENDENT RESISTANCE SYSTEM



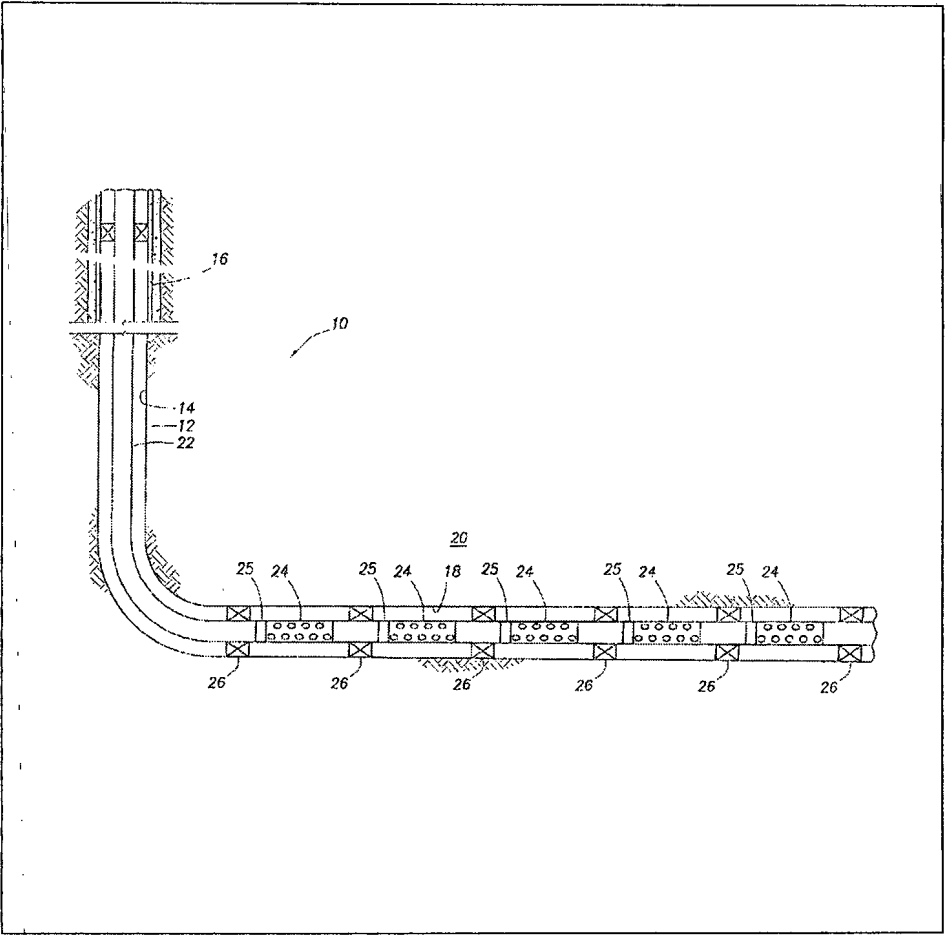
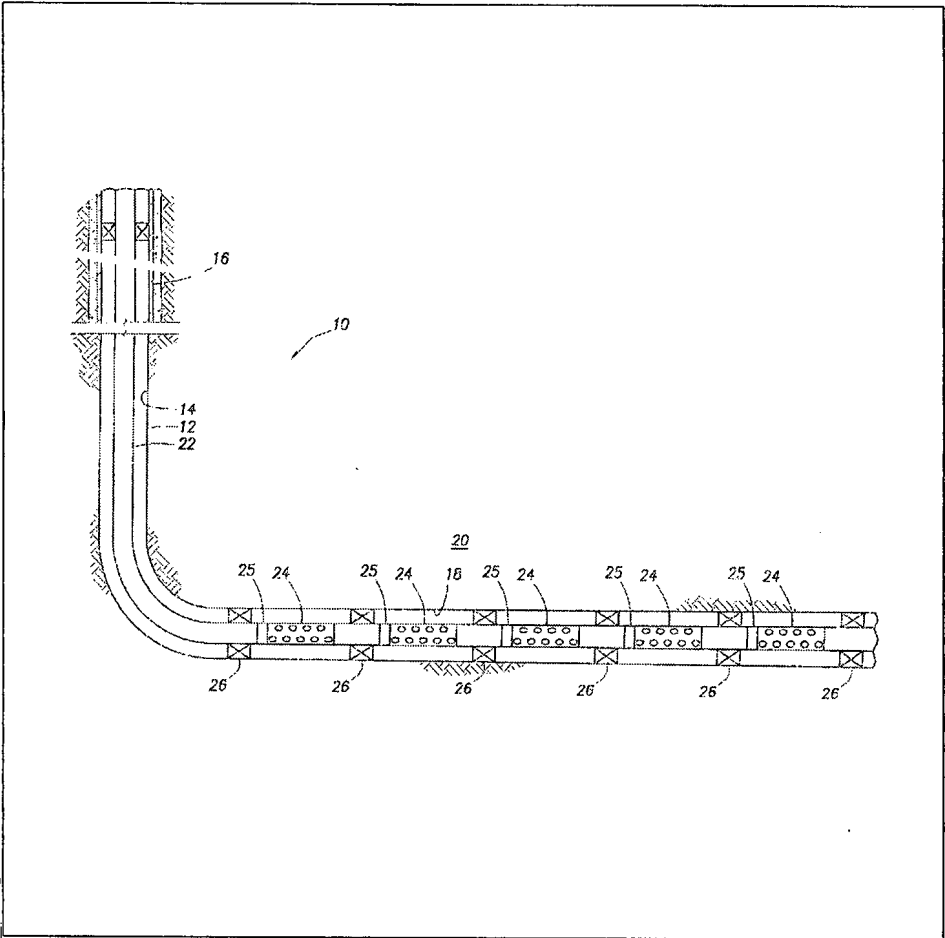
(57) Abstract: An apparatus is described for controlling flow of fluid in a tubular positioned in a wellbore extending through a subterranean formation. A flow control system is placed in fluid communication with a main tubular. The flow control system has a flow ratio control system and a pathway dependent resistance system. The flow ratio control system has a first and second passageway, the production fluid flowing into the passageways with the ratio of fluid flow through the passageways related to the characteristic of the fluid flow. The pathway dependent resistance system includes a vortex chamber with a first and second inlet and an outlet, the first inlet of the pathway dependent resistance system in fluid communication with the first passageway of the fluid ratio control system and the second inlet in fluid communication with the second passageway of the fluid ratio control system. The first inlet is positioned to direct fluid into the vortex chamber such that it flows primarily tangentially into the vortex chamber, and the second inlet is positioned to direct fluid such that it flows primarily radially into the vortex chamber. Undesired fluids, such as natural gas or water, in an oil well, are directed, based on their relative characteristic, into the vortex primarily tangentially, thereby restricting fluid flow when the undesired fluid is present as a component of the production fluid.

WO 2011/097101 A1

WO 2011/097101 A1



-
- *before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments (Rule 48.2(h))*





No. 12-150305-00000-0000

Fecha: 2012-09-03 16:00:49
Tra. 11 PATENTE IYI
Act. 411 PRESENTACION

Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Eve: 378 FASE NACIONAL I
Folios: 217

PATENTE DE INVENCION ☐

MODELO DE UTILIDAD ☐

☐	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 ☐