

APARATO Y MÉTODOS PARA SEPARAR HIDROCARBUROS DE PARTÍCULAS

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La invención se refiere a aparatos y métodos para separar hidrocarburos tales como bitumen de partículas sólidas (o material en forma de partículas), tales como partículas de arena, suelo, roca o sedimento. La invención puede usarse en una variedad de campos petroleros, no petroleros, contextos industriales o ambientales. Se apreciará que métodos y aparatos para separar hidrocarburos de partículas pueden usarse para separar partículas de hidrocarburos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

En la extracción de petróleo, es común que los hidrocarburos crudos se mezclen con partículas sólidas tales como arena o roca o suelos. Esto es particularmente el caso en las formaciones de arenas petrolíferas, que comprenden inherentemente arenas, arcillas y otros minerales.

La separación del petróleo de las partículas sólidas puede complicarse adicionalmente en los casos donde el petróleo se compone de hidrocarburos de cadena larga (por ejemplo, bitumen) que tienden a ser viscosos y así adherirse a cualquier partícula dentro de la mezcla de partículas de petróleo. Muchos depósitos de hidrocarburos que se producen en yacimientos cercanos a la superficie tienen característicamente estructuras de alto peso molecular que hacen que separarlos del material de yacimiento inorgánico (por ejemplo, partículas de roca y arena) sea un proceso difícil. De hecho, las dificultades para separar los hidrocarburos pesados de las partículas sólidas (por ejemplo, en los recortes de perforación) significan que a menudo no se recuperan hidrocarburos de tales mezclas de residuos de partículas y petróleo.

Por ejemplo, en la cuenca sedimentaria del oeste de Canadá, actualmente la solución de menor costo para muchos operadores es estabilizar sus residuos de perforación contaminados con petróleo con un material absorbente (es decir, virutas de madera) y transportarlos a una instalación de gestión de residuos regulada y limitada o no, se inicia o se logra la recaptura de hidrocarburos.

Otros métodos para separar el petróleo de las partículas sólidas incluyen la tecnología de desorción térmica en la que se usan grandes cantidades de energía mecánica para crear fuerzas de fricción para generar calor que se usa para vaporizar los hidrocarburos de los recortes de perforación cuyos vapores posteriormente se condensan y reusan o venden, y normalmente permiten que los sólidos posteriores al tratamiento se manipulen como residuos no peligrosos "inertes" y se entierren o se diseminen sobre/en el lugar.

Sin embargo, este tipo de tecnología no tuvo éxito cuando se usó para tratar recortes de perforación cargados de petróleo SAGD. En particular, se encontró que los petróleos de las operaciones SAGD eran demasiado viscosos para vaporizarse eficazmente y si se usaban temperaturas demasiado altas, largos tiempos de residencia en el tratador y alta energía, se formaba gas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) que era peligroso para los operadores. Además, la arena en las operaciones de perforación SAGD es abrasiva y puede dañar los dispositivos que usaban elementos de calentamiento de cizallamiento mecánico.

Más generalmente, la necesidad de una adición intensiva de energía puede hacer que la recuperación de hidrocarburos de alto peso molecular sea más cara que otras fuentes crudas conocidas. Por lo tanto, es deseable un proceso de eficiencia energética. Además, sería ventajoso que cualquier subproducto del proceso fuera suficientemente no peligroso de manera que pueda eliminarse de manera segura con un procesamiento adicional limitado.

TÉCNICA ANTERIOR

Vermeulen y otros en el documento núm. CA1058541A describen un método y un aparato para separar bitumen de arena de alquitrán que implica una celda de flotación eléctrica formada de un contenedor en el que se coloca una carga de arena de alquitrán no separada hasta un primer nivel y que luego se rellena con agua hasta un segundo nivel y electrodos posicionados en la celda con relación a la arena de alquitrán de manera que al aplicar una baja tensión a los electrodos una corriente eléctrica fluye a través de la arena de alquitrán y el agua.

Jarvinen en el documento núm. CA2866244 describe un método y un aparato para extraer petróleo o bitumen del suelo que comprende petróleo o bitumen o de los materiales sólidos de suelo que comprenden petróleo o bitumen, tal como arena de petróleo o del hielo, en donde el petróleo o bitumen se extrae mediante el uso de líquido caliente de manera que el suelo o el material de suelo se pone en contacto con el líquido caliente. El calor del líquido caliente extrae el petróleo o bitumen del suelo o de los materiales sólidos de suelo. El petróleo caliente o agua caliente se bombea hacia abajo en el suelo o las partículas de suelo sólidas se dejan caer en petróleo caliente o agua caliente.

Steinnes en el documento núm. WO 2012125043 describe un método y un dispositivo para limpiar recortes de perforación que comprenden recortes y lodo de perforación a base de petróleo, en donde se elimina una proporción significativa del lodo de perforación de los recortes de perforación y donde el método comprende:

- disponer los recortes de perforación en un receptáculo;
- hacer vibrar el receptáculo hasta que tenga lugar la fluidización de partículas de los recortes de perforación;
- mantener los recortes de perforación en un estado fluidizado de partículas durante el tratamiento subsiguiente;
- agregar un jabón a los recortes de perforación;

- permitir que el jabón fluya a través de los recortes de perforación mientras que los recortes de perforación se fluidifican en partículas;
- drenar del líquido del receptáculo; y entonces
- vaciar los recortes de perforación limpios fuera del receptáculo.

Genc, A. y Bakirci, B. "Treatment of emulsified oils by electrocoagulation: pulsed voltage applications", Water Science and Technology 71.8, 2015 (doi: 10.2166/wst.2015.092) describe el efecto de la aplicación de tensión pulsada en el consumo de energía durante el procesamiento de petróleos emulsionados con electrocoagulación.

SUMARIO DE LA INVENCION

De acuerdo con la invención, se proporciona un aparato para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos, el aparato que comprende:

- un contenedor para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;
- un generador de ondas de choque que comprende un par de terminales eléctricos situado dentro del contenedor;
- una fuente de alimentación de pulsos que se configura para aplicar uno o más pulsos de tensión al par de terminales eléctricos;
- el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión al par de terminales eléctricos, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

Se apreciará que las descargas de potencia pulsada entre los pares de terminales eléctricos de las modalidades descritas en la presente descripción son fenómenos eléctricos complejos que implican transitorias de alta velocidad. Por ejemplo, la descarga eléctrica puede provocar uno o más de lo siguiente:

- Ondas Acústicas y de Choque;

- Efectos Químicos Directos e Indirectos: Por ejemplo, esto puede crear hidroxilos altamente reactivos (tal como O_3 , OH^- , H_2O_2 etc.) y causar ruptura de enlace covalente; reacciones de hidrólisis; cambios en el pH; reacciones de síntesis o análisis; reacción de reducción-oxidación.
- Sonoquímica
- Desplazamiento volumétrico que permite una forma de agitación
- Los efectos térmicos en las propiedades generales (por ejemplo, el calentamiento puede reducir la viscosidad de los hidrocarburos pesados);
- Ionización por Campos Eléctricos; y
- Fotoquímica (por ejemplo, iniciada por luz UV).

Uno o más de estos efectos pueden combinarse para promover la separación de los componentes en la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. Es decir, la energía contenida en la descarga eléctrica entre terminales puede distribuirse a través de uno o más de los diversos mecanismos a los componentes de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos para efectuar la separación.

Se apreciará que la distribución de la energía de la descarga eléctrica puede depender de las características eléctricas particulares de los componentes de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos (por ejemplo, si los componentes son conductores, aisladores y/o dieléctricos). La distribución de energía de descarga eléctrica también puede depender de cómo se distribuyen espacialmente los componentes de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. Por ejemplo, las partículas pequeñas pueden proporcionar una gran superficie para que se produzcan reacciones químicas.

La fuente de alimentación de pulsos puede comprender una fuente de alimentación de alta tensión.

El par de terminales puede comprender un par de electrodos que tiene un electrodo positivo y un electrodo negativo colocado dentro del contenedor y separado por un

espacio, de manera que cuando se aplica un pulso de alta tensión a la mezcla, se genera un arco de plasma entre los electrodos que aplica una onda de choque a la mezcla. La mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos propiamente dicha puede transmitir el arco de plasma para generar la onda de choque.

Puede considerarse que el contenedor comprende una o más paredes para restringir la mezcla de manera que al menos una porción se posicione entre un par de terminales.

La tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser de al menos 18 kV. La tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser de al menos 35 kV. La tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser de al menos 50 kV. La tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser de al menos 60 kV. La tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser de al menos 100 kV. Las tensiones más bajas pueden reducir la tasa de desgaste de uno o más de los terminales. Las bajas tensiones pueden reducir la necesidad de aislamiento eléctrico y el consumo de energía. Las tensiones más altas pueden producir ondas de choque más fuertes y/o facilitar reacciones químicas diferentes.

El gradiente de tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser entre 39.4 kV/cm y 7.1 kV/cm. El gradiente de tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser de al menos 7.1 kV/cm. El gradiente de tensión entre los terminales en el par de terminales puede ser a lo máximo 50 kV/cm (o a lo máximo 39.4 kV/cm).

El generador de ondas de choque puede configurarse para recibir un puente entre los terminales del par de terminales eléctricos, el puente que se configura para explotar en respuesta a un pulso de tensión aplicado al par de terminales que aplica una onda de choque a la mezcla.

El aparato puede comprender un mecanismo de reemplazo de puente, el reemplazador de puente configurado para reemplazar el puente después de cada pulso de tensión.

El generador de ondas de choque puede comprender un inyector de puente iónico configurado para inyectar una solución de solución iónica entre el par de terminales

eléctricos del generador de ondas de choque de manera que cuando se aplica un pulso de tensión a la mezcla, se genera un arco de plasma entre el par de terminales eléctricos que aplica una onda de choque a la mezcla.

El inyector de puente iónico puede configurarse para inyectar repetidamente un volumen de material iónico para permitir que se generen ondas de choque sucesivas por el generador de ondas de choque.

El aparato puede comprender un agitador configurado para mezclar y/o proporcionar transporte agregado dentro de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos.

El aparato puede comprender múltiples pares de terminales.

Cada pulso de tensión puede tener una energía de al menos 500J.

El aparato puede configurarse para aplicar una serie de ondas de choque a la mezcla.

La separación temporal entre ondas de choque sucesivas puede ser a lo máximo de 5 segundos. El aparato puede configurarse para suministrar ondas de choque a una frecuencia de alrededor de 5 por segundo o mucho más rápido.

El tiempo de subida del borde delantero del pulso de tensión puede ser menos de 3 μ s. El borde delantero puede considerarse como el tiempo que tarda el pulso en subir hasta la tensión máxima. La velocidad de aumento de tensión de pico puede ser de al menos 2 kV/ μ s.

La distancia entre los terminales de dicho par de terminales puede estar entre $\frac{1}{4}$ de pulgada (0.635 cm) y 1 pulgada (2.54 cm). La distancia entre los terminales en dicho par de terminales puede estar entre 1 pulgada (2.54 cm) y 2 pulgadas (5.1 cm).

Uno de los terminales de dicho par de terminales puede ser un terminal de punto y el otro terminal en el par de terminales puede ser un terminal de placa.

Uno de los terminales de dicho par de terminales puede configurarse para moverse para agitar y/o traducir la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos dentro del contenedor.

La mezcla puede introducirse en el contenedor a través de un sistema de alimentación por gravedad y/o un sistema de llenado a presión (por ejemplo, que comprende una bomba).

Uno de los terminales de dicho par de terminales puede formar parte de una barrena, la barrena que se configura para agitar y trasladar la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos a través del contenedor desde una entrada a una salida. La barrena puede formarse a partir de una hélice helicoidal continua (o hélice). La hélice de barrena puede ser una hélice de cinta (por ejemplo, para uso en mezclas viscosas muy gruesas). La barrena puede no tener vástago. El flujo de líquido por encima de las barrenas puede ser a contracorriente o concurrente con el flujo de transporte de sólidos en las barrenas.

La barrena puede comprender una barrena de hélice de paso estándar. Los tornillos transportadores con paso (por ejemplo, la distancia para que la hélice haga un giro completo) sustancialmente igual al diámetro del tornillo se consideran estándar. Estos son adecuados para una amplia gama de materiales en la mayoría de las aplicaciones convencionales.

La barrena puede comprender una barrena de paso corto. En este caso, el paso de hélice se reduce a una fracción (por ejemplo, entre $\sim 2/3$ de diámetro). Esto puede ser ventajoso para aplicaciones inclinadas o verticales. Usado en alimentadores de tornillo. El paso corto reduce el levantamiento de los materiales que se fluidizan.

La barrena puede comprender una barrena de paso medio. Esta barrena es una variante particular de la barrena de paso corto, donde el paso se reduce a $1/2$ del paso estándar. Esto puede ser útil para aplicaciones inclinadas, para alimentadores de tornillo y para manipular materiales extremadamente fluidos.

La barrena puede comprender una barrena de hélice de paso variable. Las hélices de paso variable tienen un paso variable, creciente o decreciente y pueden usarse en alimentadores de tornillo, por ejemplo, para proporcionar una retirada uniforme de materiales finos y de flujo libre, sobre toda la longitud de la abertura de entrada.

La barrena puede comprender una barrena de hélice doble (o múltiple). Las barrenas de hélice doble (o múltiple) pueden ayudar a proporcionar un flujo de material regular suave y un movimiento uniforme de ciertos tipos de materiales.

La barrena puede comprender una barrena de hélice cónica. Las hélices cónicas (o tornillos) aumentan o disminuyen en diámetro a lo largo de su longitud (por ejemplo, de 2/3 al diámetro total). Estas barrenas pueden usarse en alimentadores de tornillo para proporcionar una retirada uniforme de materiales grumosos. Esto puede ser más económico que el paso variable.

La barrena puede comprender una barrena de hélice cortada. Las hélices cortadas se mellan a intervalos regulares en el borde externo de estas hélices de barrena. Las muescas pueden ayudar a la acción de mezclado y la agitación del material en tránsito. Estas barrenas pueden ser útiles para mover materiales que tienden a compactarse.

La barrena puede comprender una barrena de hélice cortada y plegada. Estas barrenas comprenden segmentos de hélice plegados configurados para elevar y derramar el material. El flujo parcialmente retardado puede ayudar a proporcionar una acción de mezclado completa. Estas pueden ayudar a calentar, enfriar o airear sustancias ligeras.

La barrena puede comprender una barrena de hélice tipo cinta. Las barrenas tipo cinta pueden ser ventajosas para transportar materiales pegajosos o viscosos. Es decir, el espacio abierto entre la hélice y el tubo o vástago puede ayudar a eliminar el agrupamiento y acumulación de material.

La barrena puede comprender una o más paletas. Por ejemplo, las paletas ajustables posicionadas entre las hélices de tornillo pueden configurarse para oponerse al flujo para proporcionar una acción de mezclado suave pero completo.

La barrena puede operarse en un ángulo negativo (es decir empujar los sólidos hacia abajo); un ángulo cero (horizontal) a un ángulo positivo (ascendente) de hasta 90° (vertical)

Las ayudas de flotación pueden introducirse en cualquier punto bajo a lo largo de la longitud vertical de la barrena.

Los terminales pueden situarse sobre o en las paredes de la carcasa o contenedor en cualquier disposición espacial. Por ejemplo, los terminales pueden o no conformarse en una única línea lineal. La separación espacial entre los electrodos vecinos puede ser diferente.

En las modalidades de múltiples pares de terminales, la deposición de energía (por ejemplo, la estrategia de pulsación) para diferentes pares de terminales puede ser diferente. Por ejemplo, la velocidad de pulso o la distribución de energía de diferentes pares de terminales puede normalmente distribuirse, polarizada a la izquierda o la derecha o bimodal o multimodal para efectuar la separación energéticamente eficiente de hidrocarburos en la mezcla.

Los pares de terminales opuestos pueden usarse en cualquier lugar fuera del volumen barrido por cualquier hélice de barrena.

El aparato puede comprender un separador de volumen que comprende salidas separadas para la fase en partículas, la fase oleosa y la fase acuosa.

Las ondas de choque y/o acústicas pueden aplicarse a la mezcla mediante el uso de un ciclo termodinámico de Lenoir. En un ciclo de Lenoir, un material (por ejemplo, una porción de la mezcla o un puente iónico) experimenta: adición de calor sustancialmente constante al volumen (isocórico) (en este caso, el calentamiento rápido por el arco de plasma para formar un canal o hueco lleno de gas que se expande y crea una onda de choque en el material circundante); expansión isentrópica de burbujas (que provoca una onda acústica en el material circundante a medida que el volumen de la burbuja aumenta hasta un máximo); y el rechazo de calor de presión constante (isobárica) (donde la burbuja colapsa lo que causa también una onda acústica en el material circundante y el ciclo puede comenzar de nuevo). La velocidad de accionamiento de la onda de choque inicial puede ser al menos 1500 m/s. La velocidad de accionamiento de la onda acústica

puede ser más 10 m/s en el crecimiento de burbujas y menos 10 m/s en el colapso de la burbuja.

El aparato puede comprender una o más barrenas para mover la mezcla con respecto a uno o más terminales estacionarios.

El aparato puede comprender una o más barreras para mover la mezcla y las paredes del contenedor se configuran para conformarse para corresponder al menos a parte de la circunferencia de una o más barrenas.

De acuerdo con un aspecto adicional, se proporciona un método para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos, el método que comprende:

aplicar una serie de uno o más pulsos de tensión entre terminales eléctricos posicionados dentro de la mezcla acuosa de mineral e hidrocarburo, de manera que cuando se aplica dicho pulso de tensión a los terminales, se genera una onda de choque en la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos que promueve la separación de los componentes de la mezcla.

El método puede comprender añadir agua a una mezcla que comprende hidrocarburos y partículas de manera que el agua represente al menos el 25 % de la mezcla en volumen resultante. El contenido de agua puede ser no más del 90 % de la mezcla en volumen.

La serie de pulsos puede configurarse para limitar la temperatura de la muestra a no más de 50 °C. Las series de pulsos pueden configurarse para limitar la temperatura de la muestra a no más de 85 °C.

Las partículas sólidas pueden comprender suelos o minerales. Las partículas sólidas pueden comprender fragmentos de roca.

Los hidrocarburos pueden comprender el bitumen.

De acuerdo con un aspecto adicional se proporciona un aparato para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos, el aparato que comprende:

Un contenedor para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

Un generador de ondas de choque configurado para generar una o más ondas de choque dentro de la mezcla en el contenedor; el aparato se configura de manera que las ondas de choque generadas promueven la separación de los componentes de la mezcla.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Varios objetos, características y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción de modalidades particulares de la invención, como se ilustra en las figuras que se acompañan. Las figuras no están necesariamente a escala, en cambio se hace hincapié en ilustrar los principios de varias modalidades de la invención. Los números de referencia similares indican componentes similares.

La Figura 1a es un esquema de un aparato para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una onda de choque generada por arco de plasma.

La Figura 1b es un esquema de un perfil de pulsos de tensión que se aplica a los terminales de la modalidad de la Figura 1a.

La Figura 2 es un esquema de un sistema para separar hidrocarburos de partículas sólidas.

La Figura 3 es un esquema de un sistema para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una onda de choque generada por un puente.

La Figura 4 es un esquema de un sistema para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una onda de choque generada por un puente iónico.

La Figura 5 es una vista en sección transversal de un contenedor y un ensamble terminal de un aparato para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una o más ondas de choque.

La Figura 6a es una vista lateral en sección transversal de un aparato separador que separa hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una onda de choque.

La Figura 6b es una vista en sección transversal del aparato separador de la Figura 6a.

La Figura 7a es una vista en perspectiva de otro aparato separador para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso una onda de choque.

La Figura 7b es una vista en sección transversal del aparato separador de la Figura 7a.

La Figura 7c es una vista en sección transversal longitudinal parcial de un par de terminales del aparato separador de la Figura 7a.

La Figura 7d es una vista en perspectiva de una variante del aparato separador de la Figura 7a.

La Figura 8 es un esquema de un sistema para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una onda de choque generada por un puente iónico.

La Figura 9a es una vista en sección transversal de otra disposición de pares de terminales planos.

Las Figuras 9b y 9c son vistas en perspectiva superiores de disposiciones de pares de terminales planos.

La Figura 9d es una vista en sección transversal de otro aparato separador para separar hidrocarburos de partículas sólidas mediante el uso de una onda de choque.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Introducción

La invención se refiere a aparatos y métodos para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. Con referencia a las figuras, se describen estos aparatos y métodos usados para separar hidrocarburos de partículas sólidas. El aparato y los métodos pueden ser particularmente aplicables para separar hidrocarburos pesados, tales como bitumen, de roca o partículas minerales tales como arena o carbonatos. La tecnología en cuestión busca efectuar la separación de hidrocarburos de partículas sólidas mientras mitiga la necesidad de usar aditivos que

pueden incluir sustancias químicas potencialmente peligrosas para el medio ambiente tales como ácidos, bases, jabón o materiales iónicos. La tecnología en cuestión también puede mitigar la necesidad de suministrar calor externo a las materias primas o proporcionar agitación energética elevada al tratamiento.

Se apreciará que esta tecnología también puede funcionar para separar petróleos refinados o crudos más ligeros de las partículas. Por ejemplo, los petróleos más ligeros pueden incluir hidrocarburos refinados tales como diésel y aceite mineral o aceites de motor.

El aparato comprende: un contenedor para la mezcla; un generador de ondas de choque que comprende dos terminales eléctricos; y una fuente de alimentación de pulsos. La fuente de alimentación de pulsos se configura para aplicar una serie de uno o más pulsos de tensión a los terminales, de manera que, cuando se aplica cada pulso de tensión a los terminales, se aplica una onda de choque a la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla. Mediante el uso de ondas de choque puede mitigarse la necesidad de calentar la mezcla y/o añadir productos químicos para facilitar la separación de hidrocarburos de partículas sólidas tales como partículas de arena, minerales o carbonato.

Todos los términos usados dentro de esta descripción tienen definiciones que pueden inferirse razonablemente a partir de las figuras y la descripción. Además, el lenguaje usado en la presente descripción debe interpretarse para dar un significado tan amplio como sea razonable al tener en cuenta el fundamento de la presente invención tal como se entiende por un experto en la técnica. También debe entenderse que la técnica anterior citada durante la tramitación de la solicitud de patente en cuestión puede no haberse identificado específicamente antes de la redacción del documento en cuestión y que pueden introducirse varias enmiendas durante la tramitación que requieran la modificación de términos para proporcionar claridad a las distinciones entre la presente invención y la técnica anterior y que tales modificaciones pueden inferirse

razonablemente al tener en consideración el documento en su conjunto y el fundamento de la invención.

Varios aspectos de la invención se describirán ahora con referencia a las figuras. A los efectos de la ilustración, los componentes representados en las figuras no se dibujan necesariamente a escala. En lugar de ello, se hace hincapié en destacar las diversas contribuciones de los componentes a la funcionalidad de varios aspectos de la invención. Un número de posibles características alternativas se introducen durante el curso de esta descripción. Debe entenderse que, de acuerdo con el conocimiento y el juicio de los expertos en la técnica, tales características alternativas pueden sustituirse en diversas combinaciones para llegar a diferentes modalidades de la presente invención.

Dentro de esta descripción se describen modalidades de una manera que permite escribir una descripción clara y concisa, pero se pretende y se apreciará que las modalidades pueden combinarse o separarse de diversas maneras sin apartarse de la invención. Por ejemplo, se apreciará que todas las características preferidas descritas en la presente descripción pueden ser aplicables a todos los aspectos de la invención descritos en la presente descripción.

Esta tecnología puede usarse en una planta fija o en una unidad móvil de procesamiento y tratamiento (por ejemplo, modalidades basadas en camiones o embarcaciones) para tratar los residuos de perforación y producción "contaminados con petróleo" de residuos de refinería aguas arriba y residuos medios de operadores de campos petrolíferos. La presente tecnología puede usarse para recuperar, por ejemplo, hidrocarburos procedentes de recortes de perforación a base de petróleo y/o hidrocarburos procedentes de recortes de yacimientos (por ejemplo, en mercados SAGD) y/o limpiar los sólidos contaminados después de un derrame de petróleo (por ejemplo arena de una playa contaminada) o materiales contaminados de las partes inferiores del tanque o arena producida.

MODALIDAD DEL ARCO DE PLASMA

La Figura 1a muestra una modalidad de un aparato separador 100 para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 103, el aparato que comprende:

un contenedor 101 (por ejemplo, un crisol, tanque, canal o tubo) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

un generador de ondas de choque que comprende un par de terminales 102 que tiene un terminal eléctrico positivo 102b y negativo 102a; y

una fuente de alimentación de pulsos 104 que se configura para aplicar un pulso de tensión entre los terminales eléctricos positivos y negativos 102a,b,

el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión a los terminales eléctricos positivo y negativo, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

La fuente de alimentación de pulsos 104 es, en este caso, una fuente de alimentación de alta tensión y el par de terminales comprende un par de electrodos 102 que tiene un electrodo positivo 102b y un electrodo negativo 102a situado dentro del contenedor y separado por un espacio, de manera que cuando se aplica un pulso de alta tensión a la mezcla, se genera un arco de plasma entre los electrodos 102a,b dentro de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 103 que aplica una onda de choque a la mezcla.

Se apreciará que una fuente de alimentación de pulsos puede comprender capacitores configurados para almacenar carga para entregar cuando se inicia el pulso.

El contenedor puede ser tan pequeño como unos pocos litros (por ejemplo, 1 galón o 4 litros), o puede ser significativamente mayor (por ejemplo, 1000 litros o más grande). El contenedor puede hacerse de acero (por ejemplo de grosor mayor que $\frac{1}{4}$ de pulgada o mayor que $\frac{1}{2}$ de pulgada). Se apreciará que el contenedor debe configurarse para soportar la fuerza de las ondas de choque.

En este contexto, el electrodo negativo 102a es el cátodo, porque el electrodo negativo es el electrodo del que sale una corriente convencional del dispositivo eléctrico polarizado (es decir, del cual se suministran electrones). Similarmente, en este contexto, el electrodo positivo 102a es el ánodo porque el electrodo positivo es el electrodo desde el cual una corriente convencional entra en el dispositivo eléctrico polarizado (es decir, en el que se reciben electrones). Se apreciará que positivo y negativo en este contexto significa la carga relativa con respecto al otro electrodo en el par de electrodos.

En este caso, un electrodo del par de electrodos es un electrodo de punto y el otro electrodo es un electrodo de placa. En este caso, el electrodo negativo (cátodo) 102a es el electrodo de punto y el electrodo positivo (ánodo) 102b es el electrodo de placa. Puesto que el electrodo de punto puede estar más caliente (por ejemplo, debido al calentamiento resistivo), puede ser más fácil expulsar electrones del electrodo de punto. Mediante el uso de al menos un electrodo de punto, en lugar de un par de electrodos de varillas paralelas o placas paralelas, la posición del arco de plasma es reproducible. En otras modalidades, ambos electrodos del par de electrodos pueden comprender electrodos de punto. En otras modalidades, donde se desean múltiples arcos de plasma, o la posición es menos importante, pueden usarse electrodos de varilla o placa paralelos.

Un electrodo de punto puede considerarse como un electrodo configurado para descargar o recibir electricidad en una punta o extremo. Puede considerarse que un electrodo de varilla es un electrodo configurado para descargar o recibir electricidad a lo largo de una longitud. Puede considerarse que un electrodo de placa es un electrodo configurado para descargar o recibir electricidad sobre una superficie. Se apreciará que designar un electrodo como electrodo de punto, varilla o superficie puede depender de la orientación del electrodo con respecto a otro electrodo en un sistema. Por ejemplo, dos electrodos alargados pueden considerarse electrodos de punto si se disponen de extremo a extremo coaxialmente; o como electrodos de varilla si se disponen sustancialmente paralelos.

entre sí; o como un electrodo de varilla y uno de punto si se disponen transversalmente entre sí en el mismo plano.

El electrodo positivo (ánodo) en este caso se une a tierra. Esto permite que se incorpore a la cámara de tal manera que la placa del electrodo esté en el mismo plano que la superficie interna (por ejemplo, la superficie inferior) del contenedor. Esto puede permitir que el contenido del contenedor (por ejemplo, arena, agua y/o petróleo separados) se elimine más fácilmente.

La distancia entre los electrodos en este caso es de $\frac{1}{2}$ de pulgada (~ 1.3 cm). Se apreciará que, en otras modalidades, la distancia entre los electrodos puede estar entre aproximadamente $\frac{1}{4}$ y 1 pulgada ($\sim 0.6\text{cm}$ – $\sim 2.5\text{cm}$) o entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada ($\sim 0.6\text{cm}$ – $\sim 1.9\text{cm}$).

Como se indicó anteriormente, el ánodo en este caso se conecta a tierra 106. El otro electrodo se configura para proporcionar una tensión entre los electrodos de al menos 18 kV (pueden usarse tensiones más altas, por ejemplo, al menos 25 kV). Se apreciará que pueden aplicarse otras tensiones a los electrodos. por ejemplo, los electrodos pueden tener una tensión de la misma magnitud (con respecto a tierra) pero polaridades opuestas. Algunas modalidades pueden configurarse para variar la salida de tensión de la fuente de tensión de alta potencia.

En esta modalidad, una diferencia de tensión de 23.5 kV entre los electrodos da un gradiente de tensión entre los dos electrodos de 18.5 kV/cm (23.5 kV/ $\frac{1}{2}$ de pulgada). En otras modalidades, el gradiente de tensión puede estar en el intervalo entre aproximadamente 39.4 kV/cm (25 kV/ $\frac{1}{4}$ de pulgada) y 7.1 kV/cm (18 kV/ 1 pulgada). Se apreciará que las modalidades con una fuente de alimentación de mayor tensión pueden tener una separación entre electrodos más grande. Se apreciará que algunas modalidades pueden permitir ajustar el espacio interelectrodo (por ejemplo, automáticamente en dependencia de la composición de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos).

En este caso, la fuente de alimentación de alta tensión 104 comprende un interruptor de potencia de chispa 104b y un microcontrolador 104a. Usar un interruptor de potencia de chispa permite que el perfil de pulso tenga un borde delantero de rápido aumento que ayuda a facilitar la formación del arco de plasma. En este caso, el microcontrolador 104 se configura para producir una serie de pulsos (por ejemplo, a intervalos de 5 segundos o mucho más rápido). Se apreciará que el tren de pulsos puede controlarse mediante el uso otros circuitos o procesadores (por ejemplo, un microprocesador, un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), o un procesador de varios núcleos). También pueden usarse trenes de pulsos más rápidos. Por ejemplo, la frecuencia de pulsos puede ser de hasta varios pulsos por segundo o más rápido.

La fuente de alimentación de alta tensión se configura para aplicar una serie de pulsos de alta tensión a la muestra (en este caso se aplica un pulso cada 5 segundos). Como se muestra en la Figura 1b, en este caso, el borde delantero del pulso de tensión es de $2.66\mu\text{s}$. Se apreciará que pueden usarse otros tiempos de elevación, por ejemplo, entre aproximadamente $1\text{-}3\mu\text{s}$ o más rápido. En este caso, cada pulso tiene una energía de al menos 500J. Se apreciará que aparatos más grandes y/o una separación entre electrodos más grande puede requerir pulsos más energéticos (por ejemplo, mayores de 1000J o mayores de 3800J).

En este caso, el contenedor comprende también una primera entrada 107 para introducir la mezcla acuosa de partículas y petróleo en el contenedor 101. El contenedor también comprende una salida 108 para separar el petróleo separado de la parte superior del contenedor. Se apreciará que otras modalidades también pueden tener una salida para retirar partículas separadas de la parte inferior del contenedor. En este caso, el contenedor también comprende una segunda entrada 109 para introducir agua en el contenedor. En este caso, la segunda entrada se extiende dentro del contenedor y se posiciona para proporcionar una corriente de agua dentro del volumen del contenedor donde se producirá el arco de plasma. En efecto, esta entrada actúa como un agitador

del contenido del contenedor al agitar el contenido mediante el uso de flujo fluido. Se apreciará que otras modalidades pueden comprender uno o más agitadores físicos (por ejemplo, varilla de agitación, hélice, rotador de contenedor, agitador o revolovedor). Se apreciará que el agitador puede configurarse para agitar el contenido del contenedor en el plano horizontal para ayudar a evitar la mezcla de estratos en el contenedor (por ejemplo para evitar la mezcla de capas de hidrocarburos y partículas separadas).

Se apreciará que una o más de las entradas y salidas pueden conectarse con una bomba para permitir que el contenido del contenedor se cicle para facilitar la agitación, el llenado o la descarga. Por ejemplo, en una configuración y en dependencia del nivel del contenido, el contenido del contenedor podría extraerse de la salida 107 y reintroducirse en la entrada 109 para agitar el contenido del contenedor. Se apreciará que el reciclado del contenido del contenedor puede dirigirse al reciclado de componentes no separados de la mezcla.

En este caso, el aparato se configura para funcionar en un modo de lote. Es decir, una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos añadida al contenedor; separada mediante el uso de ondas de choque inducidas por arco de plasma; y los productos separados eliminados antes de que se añada más mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. Se apreciará que otras modalidades pueden permitir un funcionamiento continuo donde la mezcla de partículas y petróleo puede añadirse continuamente y, eliminarse el petróleo y las partículas separadas.

MÉTODO

Para separar los hidrocarburos de las partículas sólidas mediante el uso del aparato descrito anteriormente, la mezcla de partículas e hidrocarburos se introduce en el contenedor a través de la primera entrada 107. Se añade agua a la mezcla que comprende hidrocarburos y partículas sólidas a través de la segunda entrada 109. Esto da lugar a una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. Como se indicó

anteriormente, la adición de agua desde la entrada 107 puede agitar la mezcla de partículas y petróleo. Se apreciará que, en algunos casos tales como las modalidades de SAGD, el agua puede estar ya presente en la mezcla, así que no se requiere más adición de agua.

En este caso, se añade agua de manera que el agua represente al menos el 25 % de la mezcla resultante en volumen pero no más del 90 % de la mezcla en volumen. Un intervalo preferido puede estar entre 50 % y 75 %. Esto asegura suficiente agua para generar una buena onda de choque y ayuda a asegurar que la onda de choque interactúe con la mezcla de partículas de hidrocarburo. En este caso, sólo se agrega a la mezcla agua (por ejemplo, agua pura, agua dulce o agua natural). No usar aditivos puede significar que el agua que se separa de la mezcla de partículas e hidrocarburos es más limpia, y así puede ser más fácil eliminar o reciclar el agua después de su uso. No usar aditivos puede hacer el método más rentable.

Un aditivo puede considerarse un producto químico que se añade a una materia prima en bruto para ajustar las propiedades de la materia prima. Por ejemplo, los aditivos pueden incluir surfactantes y/o materiales iónicos o ácidos y bases. Estos aditivos pueden ser potencialmente peligrosos cuando los subproductos del proceso se devuelven al medio ambiente. Es decir, es importante para las operaciones de perforación que los subproductos de agua estén limpios, ya que el procesamiento del agua es una cuestión técnica y financiera importante. También puede permitirse el uso de fuentes de agua naturales (por ejemplo ríos, lagos o agua de mar). Se apreciará que en otras modalidades pueden añadirse otros productos químicos (por ejemplo, aditivos y/o solutos) tales como surfactantes (por ejemplo, jabones, tal como estearato sódico, para hacer el bitumen más hidrófilo) y/o sales u otros materiales iónicos (por ejemplo, para promover y/o controlar la formación del arco de plasma).

A continuación se aplica una serie de uno o más pulsos de alta tensión a la mezcla acuosa de mineral e hidrocarburos, de manera que cuando se aplica un pulso de alta

tensión a la mezcla, se genera un arco de plasma 110 entre los electrodos 102a,b que aplica una onda de choque 111 a la mezcla para provocar la separación de los componentes de la mezcla. Se apreciará que una onda de choque viaja más rápidamente que la velocidad del sonido en el medio. También puede considerarse que una onda de choque provoca un cambio de etapa en la densidad del material antes del frente de choque y del material detrás del frente de choque. También se apreciará que una onda de choque puede reflejarse y refractarse mientras interactúa con diferentes materiales e interfaces de material. Por ejemplo, una onda de choque puede reflejarse parcialmente y transmitirse parcialmente por una interface entre materiales de diferentes densidades (por ejemplo, entre las interfaces de agua e hidrocarburos, partículas e hidrocarburos y/o agua y partículas). Estas propiedades pueden permitir separar los materiales con diferentes propiedades mediante el uso de una onda de choque.

Además de la onda de choque, el arco de plasma puede formar una burbuja que se expande con el tiempo. Esta expansión hace que pase una onda acústica a través del material. Al igual que la onda de choque, la onda sónica también puede ayudar a separar los hidrocarburos de las partículas sólidas. Se apreciará que la onda de choque, la onda acústica y/o el movimiento de las burbujas pueden ayudar a agitar la mezcla dentro del contenedor.

Además, un arco de plasma puede producir radiación electromagnética en un intervalo de frecuencias (por ejemplo, que incluyen uno o más de IR, luz visible y radiación UV). Esta radiación puede ayudar a promover reacciones químicas en el recipiente (por ejemplo, actualizar reacciones y/o neutralizar contaminantes potencialmente peligrosos).

Además, el arco de plasma puede ionizar el agua. Esto puede ayudar a mantener las partículas en la fase acuosa y evitar que las partículas se eleven hasta la parte superior con el hidrocarburo separado.

Las partículas en la mezcla acuosa pueden retener una carga cuando se exponen a un campo eléctrico y cuando el EM se elimina las partículas descargan entre sí lo que crea

ionización secundaria y las descargas de arco que generan efectos localizados como se describe en 13.

El arco de plasma 110 y la onda de choque resultante 111 pueden calentar la mezcla. Sin embargo, el aparato puede configurarse de manera que la serie de pulsos se configura para limitar la temperatura de la muestra a no más de 60°C (y/o la temperatura se eleva a 40°C por encima de una temperatura ambiente de 20°C). Limitar la cantidad de calentamiento puede reducir la necesidad de enfriar el agua separada antes de devolver el agua al medio ambiente. Se apreciará que el aparato puede comprender un termómetro (por ejemplo, un termopar) para medir la temperatura de la muestra. El termómetro puede conectarse al controlador para controlar la fuente de alimentación de pulsos de alta tensión para controlar el tren de pulsos con base en la temperatura de la muestra.

Cuando el hidrocarburo se separa de las partículas sólidas, los hidrocarburos flotan hasta la parte superior del contenedor ya que son menos densos que el agua cuando se calientan y los cambios químicos en la fase acuosa promueven la hidrofobicidad. En contraste, las partículas sólidas, que son más densas que el agua, se hunden a la parte inferior del contenedor. Esto puede facilitar el procesamiento continuo ya que las partículas sólidas pueden extraerse de la parte inferior del contenedor y los hidrocarburos desde la parte superior a medida que se añade la nueva mezcla de partículas e hidrocarburos al contenedor.

Se apreciará que este método puede usarse con otras modalidades configuradas para generar una onda de choque en la mezcla mediante diferentes mecanismos. Como se describe más adelante, otros mecanismos generadores de ondas de choque incluyen generar ondas de choque mediante el uso un puente y/o un puente iónico.

EXPERIMENTOS

Para dar una estimación cuantitativa de la cantidad de hidrocarburo que queda en las partículas después de la separación mediante el uso del procedimiento descrito anteriormente se llevó a cabo el siguiente experimento. En primer lugar, se añadieron aproximadamente 50 unidades de volumen a granel de mezcla acuosa de arena tratada separada del bitumen por este proceso a 50 unidades de volumen a granel de tolueno a temperatura ambiente, con el cuidado de eliminar el aire arrastrado. El tolueno disuelve los componentes de hidrocarburos que quedan en el residuo de arena acuosa tratada. El residuo de arena tratada más la mezcla de tolueno se recortó o se completó hasta 100 unidades de volumen a granel con agua del grifo normal (que es inmiscible con tolueno). Esta mezcla de residuos agua y tolueno se agita entonces y se mezcla y finalmente se separa por una centrífuga. La muestra se dejó luego sedimentar gravimétricamente, lo que separa de esta manera los diversos componentes. La arena (ahora lavada con disolvente) se asienta en la parte inferior por debajo de una capa de agua que es una combinación del agua limpia añadida más el agua arrastrada en la mezcla de arena acuosa tratada. La fracción de tolueno y de hidrocarburos disueltos flota en la parte superior y el volumen total de la mezcla no cambia. Cualquier hidrocarburo que quede en la arena tratada se disolverá en el tolueno y por lo tanto la fracción de tolueno aumentará. La fracción de hidrocarburo y tolueno se encontró que era inferior a 50.5 unidades de volumen a granel. Es decir, la adición del bitumen de la arena residual tratada añadía menos de 0.5 unidades a granel a las 50 unidades a granel de tolueno usadas originalmente. El tolueno, normalmente un líquido transparente, se torna negro después de mezclar, agitar y centrifugar. Por lo tanto, el volumen de bitumen en la arena separada mediante el uso del proceso se encontró que era inferior al 1 %. Mediante el uso de un tubo de centrífuga calibrado graduado en % se hace una lectura directa del contenido de hidrocarburo restante en las muestras de arena tratada posibles.

Se realizó otra prueba en otra muestra de una mezcla de petróleo pesado y arena, en gran parte de acuerdo con el método 9071B de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (material extraíble en n-hexano (HEM) para lodos, sedimentos y muestras sólidas, revisión de 2 de abril de 1998). Sin embargo, en esta prueba, los suelos, sedimentos y lodos se extrajeron mediante el uso de diclorometano (DCM) en lugar de n-hexano, seguido de la evaporación del disolvente y el análisis gravimétrico. Antes de la separación, la prueba encontró que los hidrocarburos constituían el 14.0 % del peso seco de la muestra. Después de la separación, la prueba encontró que los hidrocarburos constituían <0.1 % del peso seco de la muestra. Esto representa eliminar el 99.3 % $(= 100\% \times (1 - 0.1\%/14.0\%))$ de los hidrocarburos de la mezcla seca de partículas e hidrocarburos.

Se apreciará que la eficacia del proceso puede depender de: la naturaleza y la relación de los componentes en la mezcla inicial; la configuración del aparato separador (por ejemplo, tensión usada, separación entre los terminales); y los parámetros de proceso usados (por ejemplo, número de ondas de choque, frecuencia de las ondas de choque).

La inspección visual de la arena limpia mediante el uso de un microscopio de alta potencia también indica que la arena puede limpiarse mediante el uso de este método.

SISTEMA DE SEPARACIÓN

La Figura 2 ilustra un sistema de separación a gran escala. El sistema 290 comprende un aparato para separar hidrocarburos de partículas sólidas (recortes de perforación SAGD en este caso) en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos, el aparato que comprende:

- un contenedor 201 (por ejemplo, un tanque) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

un par de electrodos (o terminales) 202a,b que tiene un electrodo positivo 202a y un electrodo negativo 202b dentro del contenedor para aplicar una tensión a la mezcla 209;

una fuente de alimentación de pulsos de alta tensión 204 para aplicar un pulso de tensión entre los electrodos positivo y negativo,

el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de alta tensión a la mezcla, se genera un arco de plasma entre los electrodos que aplica una onda de choque a la mezcla para provocar la separación de los componentes de la mezcla.

Además, el sistema comprende una tolva 221 para recibir los recortes de perforación de la operación de perforación o la arena producida. Se apreciará que con esta modalidad pueden usarse otras mezclas y fuentes de residuo que comprenden hidrocarburos y partículas sólidas.

También puede añadirse agua a la tolva 221. Esta agua adicional puede ayudar a mantener la fluidez de la mezcla. El agua añadida a los recortes de perforación en esta etapa puede o no procesarse al añadir productos químicos mediante el uso de un procesador de agua opcional 224. Los productos químicos que pueden añadirse por el procesador de agua 224 podrían incluir uno o más de: diluyente tal como diésel para ayudar a disolver los hidrocarburos pesados; ácidos o álcalis (por ejemplo, NaOH) para controlar el pH y/o el contenido de iones de la mezcla; y agentes quelantes para la unión a metales (por ejemplo, porfina, etilendiamina, EDTA).

La mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos se bombea entonces dentro del contenedor 201 mediante el uso, por ejemplo, de una bomba de basura 222 u otra bomba o transportador capaz de mover mezclas sólidas/líquidas. Se apreciará que, en otras modalidades, la mezcla de partículas e hidrocarburos puede añadirse directamente al contenedor.

Cuando se encuentra en el contenedor 201, la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos se mezcla y se agita mediante el uso de un agitador. El agitador puede

comprender un miembro físico que se mueve a través de la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 203. En este caso, el agitador 209 comprende una tobera de agua que agita la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos mediante el uso de una corriente de agua dirigida. El agua para la corriente de agua dirigida puede (o no) venir de la misma fuente de agua 223 que se usa para introducir agua a la tolva 221.

Una vez dentro del contenedor 201, la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 203 se somete a una serie de ondas de choque, las ondas de choque que se generan mediante la formación de un arco de plasma entre los dos electrodos 202a,b. Además, la expansión de la burbuja después de que se genera el arco de plasma provoca que una onda acústica se extienda hacia fuera desde la burbuja. Estas ondas supersónicas y acústicas interactúan con la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 203 para separar las partículas sólidas de los hidrocarburos.

Se apreciará que otras modalidades pueden tener múltiples pares de electrodos. Por ejemplo, una modalidad puede tener múltiples cátodos y múltiples ánodos correspondientes. Otra modalidad puede tener múltiples cátodos de varilla asociados con un único ánodo de placa. Se apreciará que otras modalidades pueden tener múltiples contenedores con pares de electrodos respectivos. Por ejemplo, el sistema puede ser un sistema modular que puede controlarse centralmente. Otras variaciones serían evidentes para el experto en la técnica.

También se apreciará que el sistema puede adaptarse para usar diferentes generadores de ondas de choque. Por ejemplo, pueden generarse una o más ondas de choque mediante el uso de un puente o puente iónico entre los terminales.

Después de la separación, los hidrocarburos limpios 242 entonces flotan hacia la parte superior de la fase acuosa y pueden extraerse (por ejemplo, en un tanque de hidrocarburo separado 251) para venderse tal cual o para procesamiento posterior. Las partículas sólidas 241a se hunden hasta la parte inferior del contenedor (o permanecen suspendidas en la fase acuosa).

Después de que las partículas sólidas se eliminan de la parte inferior del contenedor, los grados de partículas sólidas pueden separarse mediante el uso de una combinación de uno o más de: un separador de arena 226; y un tamiz vibratorio de arena (no mostrado). El separador de arena 226 puede usar fuerzas centrífugas para separar la arena del agua. Puede añadirse agua adicional (por ejemplo, desde la fuente de agua 223) para limpiar adicionalmente la arena a separar.

Las partículas sólidas 241b limpias y procesadas (por ejemplo arena), pueden reusarse como, por ejemplo, agentes de cultivo en operaciones de fracturación. Alternativamente, la arena puede estar suficientemente limpia para clasificarse como residuo no peligroso y por lo tanto puede depositarse en vertedero convencional o usarse en el sitio como material de construcción o devolverse al medio ambiente.

Observamos que la fuente de agua central puede tener un ionizador 225. El ionizador puede ser un elemento catalítico pasivo que comprende los metales multivalentes (por ejemplo cobre) que generan iones de hidroxilo en el agua cuando fluyen a través a ciertas presiones (las presiones pueden inducir reacciones de sonocavitación). Esto puede aumentar la hidrofobicidad en aceite del agua. Esto puede hacer más fácil remover de la superficie la capa de hidrocarburo separada de la superficie del agua. En ciertas modalidades, el tratamiento de agua puede incluir la tecnología del tratamiento de agua configurada para permitir reusar el agua en el proceso. Por ejemplo, el agua puede recapturarse después de su uso en la mezcla o como agente de limpieza para la arena separada. Esta arena recapturada puede limpiarse y devolverse a la fuente de agua y/o reusarse en el proceso.

Se aprecia que el aparato y/o sistema de separación puede ser parte de una planta de separación fija (por ejemplo, como parte de una plataforma de perforación de petróleo y/o refinería) o parte de una unidad móvil (por ejemplo, una unidad basada en buque, tren o camión).

MODALIDAD DE PUENTE

La Figura 3 muestra un método alternativo para generar una onda de choque en la mezcla mediante el uso de un puente. Un puente es un alambre o un filamento de resistencia delgado configurado para explotar cuando se pasa una corriente suficientemente alta a través del puente. Este puente se conoce también como un detonador de puente explosivo.

En este caso, el aparato es similar al que se muestra en la Figura 1a.

La Figura 3 muestra una modalidad de un aparato separador 300 para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 303, el aparato que comprende:

- un contenedor 301 (por ejemplo, un crisol o tanque) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

- un generador de ondas de choque que comprende un par de terminales 302 que tiene un terminal eléctrico positivo 302a y uno negativo 302b,

- una fuente de alimentación de pulsos 304 para aplicar un pulso de tensión entre los terminales eléctricos positivos y negativos;

- el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión a los terminales eléctricos positivo y negativo, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

En este caso, el terminal positivo se conecta a tierra 306. El otro terminal se configura para proporcionar una tensión entre los terminales entre 2-5 kV (o mayor). Se apreciará que otras tensiones pueden aplicarse a los terminales. Por ejemplo, los terminales pueden tener una tensión de la misma magnitud (con respecto a la tierra) pero de polaridades opuestas. Algunas modalidades pueden configurarse para variar la salida de tensión de la fuente de tensión.

A diferencia de la modalidad anterior en la que el espacio entre los extremos era un circuito abierto, en este caso el circuito se cortocircuita entre los terminales por un puente 362. El puente 362 puede formarse por un metal tal como oro, platino, aleaciones de oro/platino, cobre, plata, acero inoxidable 302, hierro o aleaciones de hierro. El alambre puede estar entre 0.03-0.6 mm de diámetro (por ejemplo, 0.038 mm o 0.02 pulgadas).

Cuando el pulso de tensión se aplica al puente 362, el puente 362 se configura para explotar y para generar una onda de choque. La explosión puede provocarse por el calentamiento del aire con el paso de corriente hasta que se alcanza el punto de fusión. La velocidad de calentamiento es lo suficientemente alta que el metal líquido no tiene tiempo para fluir y se calienta aún más hasta que se vaporiza. Durante esta fase se eleva la resistencia eléctrica del ensamble de puente. Entonces se forma un arco eléctrico en el vapor metálico, que conduce a: una caída de la resistencia eléctrica y un fuerte crecimiento de la corriente; el rápido calentamiento adicional del vapor de metal ionizado; y la formación de una onda de choque. En cualquier caso, puede apreciarse que usar un puente 362 puede permitir que las tensiones más bajas (por ejemplo, 2-5 kV o 4-5 kV) creen una onda de choque.

Después de que el cable de puente explota lo que crea una onda de choque (y posiblemente una burbuja y una onda acústica), los terminales ya no se cortocircuitan por el puente. Para facilitar ondas de choque repetidas, algunas modalidades pueden comprender un mecanismo de reemplazo de puente 361, el reemplazador de puente configurado para reemplazar el puente después de cada onda de choque. Por ejemplo, los terminales pueden comprender abrazaderas receptoras para recibir y conectar eléctricamente un puente de reemplazo a medida que se pone en posición mediante un posicionador de puente. El reemplazador de puente puede comprender cualquier dispositivo mecánico que extrude o inyecta alambre hasta que se conecta la separación entre los terminales. Por ejemplo, el reemplazador de puente puede comprender motores

paso a paso o un actuador lineal configurado para mover el puente de reemplazo en su posición.

La fuente de alimentación de pulsos 304 comprende, en este caso, un interruptor de potencia de chispa 304b y un microcontrolador 304a. Usar un interruptor de potencia de chispa permite que el perfil de pulso tenga un borde delantero de rápido aumento. El microcontrolador se configura para producir una serie de pulsos (por ejemplo, a intervalos de 5 segundos o más rápido). Se apreciará que el tren de pulsos puede controlarse mediante el uso de otros circuitos o procesadores (por ejemplo, un microprocesador, un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), o un procesador multinúcleo).

Como con la modalidad de la Figura 1a, el contenedor comprende en este caso: una primera entrada 307 para introducir la mezcla de partículas y petróleo en el contenedor 301; una salida 308 para retirar el petróleo separado de la parte superior del contenedor; y una segunda entrada 309 para introducir agua dentro del contenedor. En este caso, la segunda entrada se extiende dentro del contenedor y se coloca para proporcionar una corriente de agua dentro del volumen del contenedor donde se producirá el espacio de chispa. En efecto, esta entrada actúa como un agitador del contenido del contenedor al agitar el contenido mediante el uso de flujo fluido.

MODALIDAD DE ARCO DE PLASMA ACTIVADO POR IONES

La Figura 4 muestra un método alternativo para generar una onda de choque en la mezcla mediante el uso un arco de plasma activado. La creación del arco de plasma 410 en este caso se facilita al inyectar un líquido conductor (por ejemplo, una solución iónica tal como una sal (por ejemplo, solución de NaCl, KCl) entre los terminales del generador de ondas de choque que puede hacer que el arco de plasma sea más fácil de conseguir sin tener que modificar la conductividad de todo el contenido a granel que se trata, lo que

facilita así un resultado más beneficioso para el medio ambiente para las actividades posteriores al tratamiento.

En este caso, el aparato es similar al mostrado en la Figura 1a.

La Figura 4 muestra una modalidad de un aparato separador 400 para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos 403, el aparato que comprende:

- un contenedor 401 (por ejemplo, un crisol o tanque) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

- un generador de ondas de choque que comprende un par de terminales 402 que tiene un terminal eléctrico positivo 402a y uno negativo 402b,

- una fuente de alimentación de pulsos 404 para aplicar un pulso de tensión entre los terminales eléctricos positivo y negativo;

- el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión a los terminales eléctricos positivo y negativo 402a,b, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

En este caso, el aparato comprende un inyector de puente iónico 461 configurado para inyectar un volumen de solución iónica entre los terminales eléctricos positivo y negativo del generador de ondas de choque de manera que cuando se aplica un pulso de tensión a la mezcla, se genera un arco de plasma entre los terminales y a través del volumen de la solución iónica 463 que aplica una onda de choque a la mezcla. En este caso, el inyector de puente iónico comprende un depósito para contener una cantidad de solución iónica, una tobera situada dentro del contenedor 401 para dirigir el fluido iónico entre las terminales 402a,b; un conducto de fluido para conectar la tobera al depósito; y una bomba dosificadora (por ejemplo, una jeringa, una bomba de pistón, un diafragma o una bomba peristáltica) configurada para suministrar una cantidad predeterminada de solución iónica desde el depósito hasta entre los terminales 402a,b por la tobera.

En este caso, el inyector de puente iónico se configura para inyectar repetidamente una solución de material iónico para permitir la generación de ondas de choque sucesivas por el generador de ondas de choque. Es decir, la bomba dosificadora se configura para inyectar una cantidad de solución iónica entre los terminales 402a,b justo antes de cada pulso de tensión. Esto ayuda a asegurar que la solución iónica se concentre en el volumen 463 entre los terminales y así facilita la formación de un arco de plasma sin tener que aumentar la concentración iónica de toda mezcla. Es decir, la sincronización de la inyección de material iónico con respecto al pulso de tensión es tal que el material iónico está presente entre los terminales y no ha tenido tiempo de dispersarse cuando el pulso de tensión se aplica a los terminales 402a,b.

El terminal positivo en este caso se une a la tierra 406. Esto permite que se incorpore en la cámara de manera que el terminal positivo esté en el mismo plano que la superficie interior (por ejemplo, la superficie inferior) del contenedor. Esto puede permitir que el contenido del contenedor (por ejemplo, arena, agua y/o petróleo separados) se elimine más fácilmente.

La distancia entre los terminales en este caso es de $\frac{1}{2}$ de pulgada (~ 1.3 cm). Se apreciará que, en otras modalidades, la distancia entre los terminales puede estar entre aproximadamente $\frac{1}{4}$ y 1 pulgada ($\sim 0.6\text{cm}$ – ~ 2.5 cm) o entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada ($\sim 0.6\text{cm}$ – $\sim 1.9\text{cm}$).

En este caso, el ánodo se conecta a tierra 406. El otro terminal se configura para proporcionar una tensión entre los terminales entre 2-5 kV (o superior).

En este caso, la fuente de alimentación de pulsos 404, comprende un interruptor de potencia de chispa 404b y un microcontrolador 404a. Mediante el uso de un interruptor de potencia de chispa, el perfil de pulso tiene un borde delantero que aumenta rápidamente. El microcontrolador se configura para producir una serie de pulsos (por ejemplo a intervalos de 5 segundos o más rápidos). Se apreciará que el tren de pulsos puede controlarse mediante el uso otros circuitos o procesadores (por ejemplo, un

microprocesador, un circuito integrado específico de aplicación (ASIC) o un procesador multinúcleo).

La fuente de alimentación de pulsos se configura para aplicar una serie de pulsos de tensión a la muestra (en este caso se aplica 1 pulso cada 5 segundos). En este caso, el borde delantero del pulso de tensión es de 2 μ s.

Como con la modalidad de la Figura 1a, el contenedor en este caso comprende: una primera entrada 407 para introducir la mezcla de partículas y petróleo dentro del contenedor 401; una salida 408 para retirar el petróleo separado de la parte superior del contenedor; y una segunda entrada 409 para introducir agua dentro del contenedor. En este caso, la segunda entrada se extiende dentro del contenedor y se coloca para proporcionar una corriente de agua dentro del volumen del contenedor donde se producirá el espacio de chispa. En efecto, esta entrada actúa como un agitador del contenido del contenedor al agitar el contenido mediante el uso de flujo fluido.

Se apreciará que el uso de un puente o puente iónico puede ayudar a controlar la onda de choque y producir ondas de choque más consistentes.

CONTENEDOR CON BASE INCLINADA

La Figura 5 muestra un contenedor 501 y un ensamble terminal 502a, 502b para una modalidad adicional 500. En este caso, la base del contenedor 501 se inclina en un ángulo para permitir que las partículas separadas se deslicen hacia una válvula 575 (u otra salida) para permitir la extracción de las partículas sólidas separadas. En este caso, uno de los terminales 502b se sitúa en la base inclinada (o superficie inferior). En este caso, el terminal inferior 502b y el terminal superior 502a se rodean por una capa aislante 572a, 572b. Se apreciará que, en otras modalidades, un terminal puede no situarse en la base inclinada. En otras modalidades, los terminales pueden situarse en las paredes laterales del contenedor.

MODALIDAD DE UNA BARRENA

La Figura 6a muestra una modalidad de un aparato separador 600 para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. La Figura 6b es una sección transversal del separador mostrado en la posición indicada por la línea A-A.

En este caso, el aparato comprende:

- un contenedor 601 (en este caso un tubo cerrado) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

- un generador de ondas de choque que comprende un par de terminales 602 que tiene unos terminales eléctricos positivo 602b:1-12 y negativo 602a; y

- una fuente de alimentación de pulsos configurada para aplicar un pulso de tensión entre los terminales eléctricos positivo y negativo 602a,b,

- el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión a los terminales eléctricos positivo y negativo, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

En este caso, el contenedor de tubo comprende una entrada 607 para introducir el producto en el contenedor 901 (por ejemplo de una manera continua).

A diferencia de las modalidades anteriores, esta modalidad tiene múltiples terminales eléctricos positivos 602b:1-12 montados en la pared del contenedor. Se apreciará que los electrodos montados en la pared pueden colocarse en cualquier lugar alrededor de la carcasa y forman una serie.

En este caso, el terminal negativo 602a forma parte de una barrena. En particular, la hélice de la barrena comprende el terminal negativo. Se apreciará que, en este caso, hay un espacio entre la hélice de la barrena para permitir un "espacio de chispa" entre los terminales positivo y negativo. Se apreciará que el terminal de la barrena puede tener una menor diferencia de potencial con respecto a la tierra que los terminales montados en la

pared para controlar mejor la descarga de la chispa. La barrena, o partes de la barrena o la hélice de la barrena pueden formarse a partir de materiales más resistentes a descargas de chispas (por ejemplo, tungsteno o aleaciones de tungsteno).

La barrena, en este caso, es de 9" de diámetro. La barrena puede configurarse para mover 0.5 m³/hr de 1,500-2,100 kg/m³ de suspensión (mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos) con aproximadamente 95 % de carga del contenedor. El material tiene un tiempo de retención en el contenedor de entre 10 y 30 minutos (por ejemplo, 20 min). Se apreciará que, debido a que el sistema es escalable, están disponibles otras configuraciones de diseño (por ejemplo, diferentes diámetro, longitud, ángulo de espiral de barrena, etc.) en los resultados deseados. El aparato, en este caso, se forma generalmente de acero inoxidable.

En este caso, el aparato se configura para controlar la temporización de pulsos para activar un pulso para electrodos positivos particulares cuando la hélice de la barrena está directamente adyacente con los electrodos positivos. Por ejemplo, en el escenario mostrado en la Figura 6a, los electrodos 602b: 2, 6, 8, 10 y 12 se activan para proporcionar un pulso a las porciones adyacentes del electrodo negativo 602a. En una etapa posterior, cuando se hace girar la barrena, las porciones del electrodo de barrena se alinearán con los electrodos 602b: 1, 3, 5, 7, 9 y 11, momento en el que se activarán estos electrodos. Se apreciará que el ángulo de espiral de la barrena y la separación de los electrodos laterales pueden controlarse para cambiar cuántos pares de electrodos se alinean a un tiempo determinado. Además, el eje de accionamiento puede controlarse para controlar cuando el electrodo de barrena se alinea con los electrodos laterales. Por ejemplo, la barrena puede pausarse para tener choques repetidos entre los electrodos cuando la barrena está en una posición fija.

En este caso, el electrodo de barrena 602a se acciona por un árbol de transmisión 631 con el fin de mover el producto a lo largo del contenedor y agitar el producto para ayudar a la separación. En este caso, la barrena y el árbol de transmisión están en una

configuración sustancialmente horizontal. Se apreciará que el giro de la barrena puede usarse para controlar el flujo dentro del contenedor. Por ejemplo, la barrena puede funcionar en un modo continuo para trasladar la mezcla a través del contenedor a una velocidad fija. La barrena puede configurarse para pausar para restringir el flujo. La barrena puede ejecutarse en un modo retrógrado para crear agitación adicional (el flujo hacia la salida puede ocurrir aún en el espacio por debajo de la barrena). Estos modos pueden usarse indistintamente. Por ejemplo, pueden emplearse modos diferentes en dependencia de las relaciones detectadas entre los diversos componentes en la mezcla y/o condiciones de funcionamiento (por ejemplo, temperatura).

El paso de la hélice de barrena y el diámetro de la barrena pueden o no ser constantes a lo largo de su longitud (por ejemplo, desde la entrada a la salida). Además, en un modo vertical u horizontal, por lote o continuo, puede introducirse un flujo fluido en la parte inferior que puede ayudar al lavado de la arena y la flotación del petróleo/bitumen en la parte superior. Por ejemplo, el agua introducida puede formar un lecho fluidizado que suspende los sólidos o un rociador de aire para introducir aire atmosférico bajo presión para formar burbujas que ayudan en la flotación.

Se apreciará que el aparato de barrena puede operar en cualquier ángulo entre horizontal (cero grados) y vertical (90 grados desde la horizontal). Al operar en un modo vertical, el espacio entre la hélice de barrena y la pared del contenedor puede ser menor.

Se apreciará que en otras modalidades, la barrena y los electrodos pueden ser componentes separados. En otras modalidades, el electrodo puede adoptar una forma diferente para proporcionar agitación y/o traslación de la mezcla. Por ejemplo, el aparato puede comprender un propulsor, un impulsor, una varilla en ángulo o recta o rueda de paletas que pueden o no comprender uno o más electrodos. El aparato puede comprender una pluralidad de paletas en ángulo conectadas a un eje común en varias posiciones axiales.

En este caso, mientras se mueve la mezcla a lo largo del contenedor, puede añadirse agua a través de una o más toberas de pulverización o puertos 632a-d. Esto permite que el componente de agua de la mezcla se controle en puntos diferentes a lo largo de la dirección axial del contenedor 601. También puede usarse para limpiar/eliminar material (por ejemplo, bitumen) de la barrena.

Los beneficios potenciales de este diseño pueden incluir uno o más de los siguientes:

- puede permitir el procesamiento continuo y el flujo de material y menos gastos de capital que el procesamiento por lotes;
- el factor de forma puede permitir una simplificación del diseño del electrodo mediante el uso de la hélice de la barrena como electrodo negativo;
- puede mejorar la calidad del producto (por ejemplo mediante agitación) y puede permitir una optimización más sencilla del sistema; y
- puede ser más fácilmente escalable.

Además de que el contenedor aloja el par de terminales, el aparato en este caso comprende un separador de volumen para permitir una separación final de los componentes después del tratamiento de choque. En este caso, el separador de volumen recibe la mezcla procesada desde la salida del contenedor. En este punto, puede proporcionarse agua adicional a través de la entrada de agua 680.

Debido a las diferencias en la densidad de la arena en comparación con la fase acuosa, la arena se hunde rápidamente hasta la parte inferior, donde puede eliminarse desde la salida de arena 681.

Después de que se elimina la arena, el producto restante comprende hidrocarburos y agua. Debido al proceso de tratamiento, el petróleo puede formar pequeñas gotas que forman una emulsión con el agua. Para agrupar las pequeñas gotas de petróleo, el separador de volumen puede comprender un coalescente 682. En este caso, el coalescente es un coalescente de polipropileno 682 que comprende una matriz de fibras de polipropileno diseñada para unir las pequeñas gotas de petróleo. Pueden usarse otros

coalescentes. Mediante la formación de gotas de petróleo más grandes, las gotas flotarán hacia la parte superior debido a las diferencias de densidad. Desde aquí, un desnatador de aceite 683 dirige el petróleo en la parte superior hacia una salida de petróleo. El agua restante va a la parte inferior donde se elimina por la salida de agua 685.

MODALIDAD DE DOBLE BARRENA ENCERRADA

La Figura 7a muestra una modalidad de un aparato separador 700 para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos. La Figura 7b es una sección transversal del separador. La Figura 7c es una sección transversal longitudinal de una porción del separador que resalta la disposición de los pares de terminales.

En este caso, el aparato comprende:

- un contenedor 701 (en este caso un canal alargado que aloja dos barrenas) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

- un generador de ondas de choque que comprende un par de terminales 702 que tiene un terminal eléctrico positivo 702b y uno negativo 702a; y

- una fuente de alimentación de pulsos 704 configurada para aplicar un pulso de tensión entre los terminales eléctricos positivos y negativos 702a, b,

el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión a los terminales eléctricos positivo y negativo, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

En este caso, el contenedor de tubo comprende una entrada 707 para introducir producto en el contenedor 701 (por ejemplo, de una manera continua). Como se indicó anteriormente, el contenedor 701 aloja dos barrenas 791, 792. El contenedor 701 se configura para encerrar las dos hélices de barrena 791, 792 alrededor de la mayoría de la circunferencia de las hélices (por ejemplo, 270° como se muestra en la Figura 7b). Esto

ayuda a asegurar que la hélice pueda mover sustancialmente todo el material dentro del contenedor a lo largo del eje longitudinal del contenedor. Sin embargo, en este caso, hay una región de interacción 793 entre las dos hélices de barrena donde el contenedor no sigue las circunferencias de las hélices de barrena. Esta región de interacción 793 se extiende entre las mitades inferiores de las dos hélices de barrena 791, 792 y aloja los pares terminales 702a,b que se disponen longitudinalmente a lo largo del eje del contenedor. Se apreciará que la región de interacción entre las barrenas es una región en la que se genera la onda de choque; sin embargo, los efectos de la onda de choque pueden extenderse más allá de esta región en los volúmenes barridos por las hélices de barrena.

Si se usan fuerzas de gravedad, hay una "puerta" de dosificación 771 colocada entre 701 y 707 que controla el material que entra en las barrenas dobles a velocidades de flujo precisas. Una modalidad adicional (mostrada en la Figura 7d) permite que 707 se mueva y se conecte a 701 mediante una la bomba 773 y el sistema de tubería a presión 774 que también proporciona una medición precisa del material en 701.

Las barrenas, en este caso, tienen lateralidad opuesta y se configuran para girar en fase en direcciones opuestas, como se muestra por las flechas curvas en la Figura 7b. Esto mantiene la simetría a través de un ciclo de giro alrededor de un plano espejo alineado con el eje longitudinal del contenedor. Debido a que las barrenas se configuran para girar de manera que las porciones interiores de las barrenas se mueven hacia arriba, el material sólido en la parte inferior de las dos barrenas se impulsa hacia la región de interacción 793 entre las dos barrenas. Esto ayuda a asegurar que la onda de choque generada dentro de las regiones de interacción se acople más eficientemente con los componentes sólidos de arena e hidrocarburo 798 de la mezcla. Los componentes líquidos 799 de la mezcla fluirán más fácilmente y así formarán un nivel más uniforme dentro del contenedor. Estas pueden funcionar fuera de fase de manera que no reflejan imágenes.

Cada barrena, en este caso, tiene un diámetro de 9". Cada barrena puede configurarse para 0.5 m³/hr o más de 1,500-2,100 kg/m³ suspensión (mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos) a aproximadamente 95 % de carga de contenedor. El material puede tener un tiempo de retención en el contenedor de entre 10 y 30 minutos (por ejemplo, 20 minutos). Se apreciará que, debido a que el sistema es escalable, están disponibles otras configuraciones de diseño (por ejemplo, diferentes diámetro, longitud, ángulo de espiral de barrena, etc.) en los resultados deseados. El aparato, en este caso, se forma generalmente de acero (por ejemplo, acero inoxidable).

A diferencia de la modalidad anterior, las hélices de barrena no son uno de los terminales (aunque otras modalidades pueden configurarse de manera que la hélice sea uno de los terminales). En este caso, los electrodos 702a, 702b se sitúan dentro de la zona de interacción entre las hélices de barrena 792, 793 como se muestra en las Figuras 7b y 7c. En este caso, el terminal negativo (o tierra) 702a es un electrodo alargado situado encima de un terminal positivo 702b. El electrodo negativo se monta en una estructura de puente que conecta el electrodo a la fuente de alimentación de pulsos 704. Se apreciará que pueden existir múltiples electrodos dispuestos longitudinalmente a lo largo de la zona de interacción. Se apreciará que el propio contenedor puede conectarse a tierra.

En este caso, las barrenas 791, 792 se accionan por árboles de transmisión con el fin de mover el producto a lo largo del contenedor y agitar el producto para ayudar a la separación. En este caso, las barrenas y el árbol de transmisión están en una configuración inclinada. La barrena puede operar también en una orientación declinada. Se apreciará que el giro de cada barrena puede usarse para controlar el flujo dentro del contenedor. Por ejemplo, cada barrena puede funcionar en un modo continuo para trasladar la mezcla a través del contenedor a una velocidad fija. La barrena puede configurarse para hacer una pausa para restringir el flujo. Cada barrena puede ejecutarse en un modo retrógrado para crear agitación adicional (el flujo hacia la salida puede ocurrir aún en el espacio debajo de la barrena). Las barrenas pueden tener la misma o diferente

lateralidad. Las barrenas pueden configurarse para girar en fase. Las barrenas pueden configurarse para girar a la misma velocidad fuera de fase. Esto puede inducir un movimiento recíproco transversal al material en la zona de interacción entre las dos hélices. Estos modos pueden usarse indistintamente. Por ejemplo, pueden emplearse diferentes modos en dependencia las relaciones detectadas entre los diversos componentes en la mezcla y/o las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, temperatura).

El paso de la hélice de barrena y el diámetro de la barrena pueden o no ser constantes a lo largo de su longitud (por ejemplo, desde la entrada a la salida). Además, en un modo vertical u horizontal, por lotes o continuo, puede introducirse un flujo fluido en la parte inferior que podría ayudar en el lavado de la arena y la flotación del petróleo/bitumen de la parte superior. Por ejemplo, el agua introducida puede formar un lecho fluidizado que suspende los sólidos.

Se apreciará que el aparato de barrena puede operar en cualquier ángulo entre horizontal (cero grados) y vertical (90 grados desde la horizontal). Al operar en un modo vertical, el espacio entre la hélice de barrena y la pared del contenedor puede ser menor.

Se apreciará que esta modalidad puede tener algunas de las características opcionales descritas con respecto a la modalidad de la Figura 6 (por ejemplo, toberas de agua adicionales, etc.).

SISTEMA DE SEPARACIÓN CONTINUA

El uso de modalidades tales como las descritas en relación con las Figuras 6a y 7a permiten que el método se lleve a cabo de forma continua. Esto puede agilizar el proceso. La Figura 8 muestra una modalidad configurada para permitir la separación continua de los diversos componentes de una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos.

En este caso, el separador comprende un separador basado en barrena 800 que se configura para recibir la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos por la entrada 807. La barrena entonces mueve la mezcla mientras el separador aplica choques (generados por el controlador 804) a la mezcla para separar la mezcla en sus componentes constituyentes.

Con el fin de permitir la separación macroscópica de los componentes separados, los componentes separados se suministran a un tanque de sedimentación 896. Cuando el hidrocarburo se separa de las partículas sólidas, los hidrocarburos flotan hacia la parte superior del contenedor, ya que son menos densos que el agua. Por el contrario, las partículas sólidas, que son más densas que el agua, se hunden hacia la parte inferior del tanque de sedimentación 896. Esto puede facilitar el procesamiento continuo ya que las partículas sólidas pueden extraerse de la parte inferior del contenedor y los hidrocarburos desde la parte superior se añaden al contenedor como nueva mezcla de partículas e hidrocarburos. El nivel de la entrada 807 puede ser al menos tan alto como el nivel de fluido en el tanque de sedimentación 896 para ayudar a contener el líquido dentro del sistema.

En este caso, el petróleo que flota en la parte superior del tanque de sedimentación se extrae hacia un tanque de retención 851.

La arena depositada en la parte inferior del tanque de sedimentación se extrae mediante el uso de un separador de arena 826 que tiene una segunda barrena. Con la modalidad de la Figura 2, en esta modalidad puede añadirse agua adicional al separador de arena 826 para limpiar adicionalmente la arena a separar.

Se apreciará que el separador de arena 826 puede permitir que la arena y el agua se eliminen del sistema (es decir, de manera que el sistema procese la mezcla inicial en una sola pasada) o permitir que parte del material (por ejemplo, el componente líquido) se retorne a la entrada 807 para permitir que el sistema funcione en un modo de pasada múltiple.

MODALIDAD DE BARRENA DOBLE CON PARES DE TERMINALES PLANOS

La Figura 9a muestra una configuración de par de terminales alternativa 902:a. En este caso, los terminales positivos 902a: y negativos 902b:a, 902c:a se disponen en el mismo plano separados por aisladores 902x:a, 902y:a. Esta disposición puede considerarse un par de terminales planos o de botón. Al variar la tensión en el electrodo y el aislante, las propiedades de grosor de descarga de un arco 910 pueden controlarse en la mezcla acuosa adyacente al electrodo. Se apreciará que uno de los electrodos en el par puede sobresalir más allá del material aislante. Por ejemplo, en la modalidad mostrada en la Figura 9a, el electrodo central sobresale más allá del material aislante. Esto puede ayudar a permitir que se forme el arco de corriente lo que genera la onda de choque.

Cuando los terminales se cargan, la carga no puede fluir a través del aislante de manera que los terminales descargan 910 en la mezcla en los extremos no aislados de los terminales dentro de la mezcla. Esto crea una onda de choque para separar la mezcla en los componentes constituyentes. En este caso, los terminales "negativos" 902b:a, 902c:a se conectan a tierra.

Las Figuras 9b y 9c muestran vistas en perspectiva de dos configuraciones posibles de pares de terminales planos. Los pares de terminales planos pueden ser simétricos en giro alrededor de un terminal central (lo que forma una forma de botón como se muestra en la Figura 9b). Por ejemplo, como se muestra en la Figura 9a, el terminal positivo 902a:a es el terminal central rodeado por una porción aislante 902x:a y un terminal negativo 902b:a. Los pares de terminales planos pueden formar una disposición extendida con múltiples electrodos positivos 902a:a, 902a:e y negativos 902b:a, 902c:a, 902e:a separados por porciones aislantes 902w:a, 902x:a, 902y:a, 902z:a, como se muestra en la Figura 9c. Se apreciará que pueden usarse otras disposiciones planas bidimensionales.

Una ventaja de esta construcción del terminal es que el terminal puede quedar al ras con la superficie del contenedor. Esto puede facilitar la limpieza y evitar que los terminales

afecten a las partes en movimiento dentro del contenedor (por ejemplo, barrenas o agitadores).

La Figura 9d es una sección transversal de una modalidad de un aparato separador 900 para separar hidrocarburos de partículas sólidas en una mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos y que usa pares terminales como se describe con respecto a la Figura 9a.

En este caso, el aparato comprende:

un contenedor 901 (en este caso un canal alargado que aloja dos barrenas) para contener la mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos;

un generador de ondas de choque que comprende múltiples pares de terminales 902:1,902:a que tiene un terminal eléctrico positivo y otro negativo; y

una fuente de alimentación de pulsos 904 que se configura para aplicar un pulso de tensión entre los terminales eléctricos positivos y negativos 902a,b,

el aparato que se configura de manera que, cuando se aplica un pulso de tensión a los terminales eléctricos positivo y negativo, se genera una onda de choque en la mezcla para promover la separación de los componentes de la mezcla.

El contenedor 901, en este caso, aloja dos barrenas 991, 992. A diferencia de la modalidad de la Figura 7, en este caso, el contenedor 901 se configura para encerrar las dos hélices de barrena 991, 992 solamente alrededor de una parte inferior de la circunferencia de las hélices (p.ej. $\sim 90^\circ$ como se muestra en la Figure 9d). Las modalidades con paredes de contenedor cónicas (por ejemplo, en forma de "V") pueden encerrar menos de 90° de la barrena. Encerrar la parte inferior de la hélice de barrena ayuda a asegurar que la hélice pueda mover sustancialmente todo el material dentro del contenedor a lo largo del eje longitudinal del contenedor.

Además, a diferencia de la modalidad de la Figura 7, las paredes del contenedor se extienden hacia arriba (por ejemplo, verticalmente en este caso aunque también son posibles las paredes inclinadas) de manera que hay un volumen significativo de líquido por encima de las hélices de barrena. Este volumen adicional "ático" o "en lo alto" de

líquido puede ayudar a prevenir que cualquier petróleo/bitumen separado flotante se reintroduzca en la mezcla a medida que gira la barrena. En esta modalidad, el uso principal de las barrenas es transportar en lugar de agitar, así que se usará baja RPM.

En este caso, existe una región de interacción 993 entre las dos hélices de barrena, donde la parte inferior del contenedor no sigue las circunferencias de las hélices de la barrena. Esta región de interacción 993 se extiende entre las mitades inferiores de las dos hélices de barrena 991, 902 y aloja pares de terminales opuestas 902a:1, 902b:1 que se disponen longitudinalmente a lo largo del eje del contenedor. Los pares de terminales opuestos se disponen de manera que la mezcla puede pasar directamente entre los terminales positivo y negativo. Se apreciará que la región de interacción entre las barrenas es una región en la que se genera una onda de choque; sin embargo, los efectos de la onda de choque pueden extenderse más allá de esta región en los volúmenes barridos por las hélices de barrena.

Además de los pares de terminales opuestos 902:1, esta modalidad comprende una disposición de pares de terminales planos 902:a (diez pares de terminales planos se muestran en la Figura 9d). Los pares de terminales planos se disponen a lo largo de la parte inferior del contenedor opuesto a las hélices de barrena.

Las barrenas, en este caso, tienen lateralidad opuesta y se configuran para girar en fase en direcciones opuestas, como se muestra por las flechas curvas en la Figura 9d. Esto mantiene la simetría a través de un ciclo de giro alrededor de un plano espejo alineado con el eje longitudinal del contenedor. Debido a que las barrenas se configuran para girar de manera que las porciones interiores de las barrenas se mueven hacia arriba, el material sólido en la parte inferior de las dos barrenas se impulsa hacia la región de interacción 993 entre las dos barrenas. Esto ayuda a asegurar que las ondas de choque generadas dentro de las regiones de interacción se acoplen más eficientemente con los componentes sólidos de arena e hidrocarburos 998 de la mezcla. Los componentes líquidos 999 de la mezcla fluirán más fácilmente y así formarán un nivel más uniforme

dentro del contenedor. Estas pueden funcionar fuera de fase de manera que no reflejan imágenes.

Cada barrena, en este caso, tiene un diámetro de 9". Cada barrena puede configurarse para mover 0.5 m³/hr o más de 1,500-2,100 kg/m³ de suspensión (mezcla acuosa de partículas e hidrocarburos) a aproximadamente 95 % de carga de contenedor. El material puede tener un tiempo de retención en el contenedor de entre 10 y 30 minutos (por ejemplo, 20 minutos). Se apreciará que, debido a que el sistema es escalable, están disponibles otras configuraciones de diseño (por ejemplo, diferentes diámetro, longitud, ángulo de espiral de barrena, etc.) en los resultados deseados. El aparato, en este caso, se forma generalmente de acero (por ejemplo, acero inoxidable).

Como con la modalidad de la Figura 7, pueden emplearse diferentes modos de barrena en dependencia de las relaciones detectadas entre los diversos componentes en la mezcla y/o las condiciones operativas (por ejemplo, la temperatura).

Se apreciará que esta modalidad puede tener algunas de las características opcionales descritas con respecto a la modalidad de la Figura 6 (por ejemplo, toberas de agua adicionales, etc.).

OTRAS OPCIONES

Se apreciará que las formas de modalidad de las barrenas (por ejemplo, las Figuras 7a y 9d) pueden tener configuraciones diferentes. Por ejemplo, la hélice de la barrena puede ser una hélice en cinta (por ejemplo, para uso en mezclas viscosas muy espesas). La barrena puede no tener vástago.

Otras opciones incluyen que los terminales puedan colocarse en la carcasa o contenedor en cualquier disposición espacial. Por ejemplo, los terminales pueden o no conformarse a una única línea lineal. La separación espacial entre electrodos vecinos puede ser diferente.

En las modalidades de múltiples pares de terminales, la deposición de energía (por ejemplo, la estrategia de pulsación) a lo largo de la longitud de las barrenas puede no ser lineal, pero puede normalmente distribuirse, polarizada a la izquierda o la derecha o bimodal para efectuar la separación energéticamente eficiente y limpiar los sólidos.

El flujo de líquido por encima de las barrenas puede ser a contracorriente o concurrente con el flujo de transporte de sólidos en las barrenas.

La barrena puede accionarse en un ángulo negativo (es decir empujar los sólidos hacia abajo); un ángulo cero (horizontal) a un ángulo positivo (ascendente) de hasta 90° (vertical).

Las ayudas de flotación pueden introducirse en cualquier punto bajo a lo largo de la longitud vertical de la barrena.

Se apreciará que los pares de terminales opuestos también pueden usarse fuera de cualquier lugar fuera del volumen barrido por cualquier hélice de barrena. Por ejemplo, en la modalidad de la Figura 9d, pueden usarse pares de terminales opuestos en el espacio entre las hélices de barrena y las paredes del contenedor y/o en el volumen por encima de las hélices de barrena.

Explicación Adicional de los Términos

Los hidrocarburos pueden comprender hidrocarburos pesados tal como bitumen. Los hidrocarburos pueden definirse como hidrocarburos que pueden destilarse a temperaturas por encima de 350 °C y/o tienen una gravedad API de menos de 22.3 (densidad mayor que 920 kg/m³). Los hidrocarburos pueden ser el producto de un yacimiento de petróleo (hidrocarburos nativos) o pueden introducirse en un pozo (hidrocarburos no nativos tales como barro a base de petróleo (OBM) u otros fluidos de perforación).

Los hidrocarburos pueden incluir hidrocarburos medios y/o hidrocarburos ligeros. Los hidrocarburos medios pueden definirse como hidrocarburos que pueden destilarse entre temperaturas de 200 °C y 350 °C y se definen generalmente como que tienen una

gravedad API entre 22.3 API y 31.1 API (870 a 920 kg/m^3). Los hidrocarburos ligeros pueden definirse como hidrocarburos que pueden destilarse por debajo de 200°C y por lo general se define como que tienen una gravedad API superior a 31.1 API (menos de 870 kg/m^3).

Las partículas sólidas pueden comprender recortes de perforación. Las partículas sólidas pueden comprender minerales. Se apreciará que los minerales pueden comprender uno o más minerales. Un mineral puede representarse por una fórmula química. Los minerales pueden formar parte de un componente de roca. Un mineral puede formarse de compuestos inorgánicos. Las partículas pueden ser hidrocarburo insoluble en agua y/o líquido. Los minerales pueden comprender arena de dióxido de silicio. Las partículas sólidas pueden comprender fragmentos de roca y/o clásticos.

Los minerales pueden comprender carbonatos. Es decir, esta técnica también puede usarse cuando los hidrocarburos están en una formación de carbonato (piedra caliza o dolomita). Esta técnica puede adecuarse particularmente a las formaciones de carbonatos, ya que usar cantidades significativas de calor y productos químicos con carbonatos en un entorno acuoso puede provocar reacciones químicas perjudiciales en la mezcla de hidrocarburos acuosos y sólidos lo que puede dificultar la extracción de hidrocarburos.

Las partículas sólidas pueden comprender uno o más de: limo fino; limo medio; limo grueso; arena fina; arena media; arena gruesa; grava fina; grava media y grava gruesa. Estos términos corresponden a tamaños definidos en la norma internacional ISO 14688-1:2002. Las partículas sólidas pueden tener una dimensión mínima inferior a $1/5$ de la separación entre electrodos. Las partículas sólidas pueden ser más densas que el agua. Las partículas sólidas pueden ser de tamaño y densidad suficientes que se hunden hacia la parte inferior de la fase acuosa cuando se separan de los hidrocarburos.

Una fuente de alimentación de pulsos de alta tensión puede considerarse una fuente de alimentación configurada para producir un pulso de tensión con una tensión de pico de

más de 17 kV. Una fuente de alimentación de pulsos de media tensión puede considerarse una fuente de alimentación configurada para producir un pulso de tensión con una tensión de pico entre 5-12 kV.

Aunque la presente invención se describe e ilustra con respecto a las modalidades preferidas y usos preferidos de la misma, no debe limitarse así, puesto que pueden realizarse modificaciones y cambios en la misma que están dentro del alcance completo de la invención tal como lo entienden los expertos en la técnica.