

TOBERA PARA INYECCIÓN DE VAPOR

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES ANTERIORES

La presente solicitud reivindica la prioridad según el Convenio de París a la Solicitud de los
5 Estados Unidos Número 62/669,802, presentada el 10 de mayo de 2018, cuyo contenido completo se incorpora en la presente descripción como referencia.

CAMPO DE LA DESCRIPCIÓN

La presente descripción se refiere a dispositivos de control de flujo usados para controlar el
10 flujo de vapor inyectado en formaciones que contienen hidrocarburos. En particular, la descripción se refiere a una tobera para disipar y recuperar la presión del vapor inyectado en las formaciones.

ANTECEDENTES

15 Generalmente, se accede a los yacimientos de hidrocarburos subterráneos mediante uno o más pozos que se perforan en el yacimiento para producir los materiales de hidrocarburos contenidos en el mismo. Tales materiales luego se llevan a la superficie a través de la tubería de producción.

Los pozos perforados en los yacimientos pueden ser verticales u horizontales o en cualquier
20 ángulo entre ellos. En algunos casos, cuando los hidrocarburos comprenden un material altamente viscoso, tal como petróleo pesado y similares, se puede inyectar vapor, gas u otros fluidos de menor viscosidad en una o más secciones del yacimiento para estimular el flujo de hidrocarburos hacia la tubería de producción proporcionada en el hoyo. El drenaje por gravedad asistido por vapor, "SAGD", es un ejemplo de un proceso que se usa para estimular
25 el flujo de petróleo muy viscoso. En una operación SAGD, uno o más pares de pozos, donde cada par comprende dos pozos horizontales separados verticalmente, se perforan en un yacimiento. Cada uno de los pares de pozos comprende típicamente un pozo de inyección de vapor y un pozo de producción, con el pozo de inyección de vapor que se coloca generalmente de manera vertical sobre el pozo de producción. En funcionamiento, se inyecta
30 vapor en el pozo de inyección para calentar y reducir la viscosidad de los materiales de hidrocarburos en su cercanía, en particular el material de petróleo pesado viscoso. Después del tratamiento con vapor, el material de hidrocarburo, ahora movilizado, se drena hacia el pozo de producción inferior debido al efecto de la gravedad, y subsecuentemente se lleva a la superficie a través de la tubería de producción.

35 La estimulación cíclica con vapor, "CSS", es otro método de producción de hidrocarburos en el que se usa vapor para mejorar la movilidad de los materiales de hidrocarburos viscosos. En un proceso CSS, se usa un solo pozo para inyectar primero vapor durante un período de tiempo en el yacimiento a través de una tubería. Posteriormente, se puede detener la inyección de vapor y se permite que el calor del vapor inyectado se absorba en el yacimiento
40 (una etapa denominada como "cierre" o "remojo"), durante la cual se reduce la viscosidad

del material de hidrocarburo. Después de tal etapa, los hidrocarburos, ahora movilizados, se producen en una etapa de producción, a menudo a través de la misma tubería.

La tubería usada en los hoyos comprende típicamente varios segmentos coaxiales, o tubulares, que se conectan entre sí. También pueden proporcionarse varias herramientas a lo largo de la tubería y colocarse en línea con los tubulares. La tubería, ya sea para inyección de vapor o producción de hidrocarburos, generalmente incluye una serie de aberturas o puertos a lo largo de su longitud. Los puertos proporcionan un medio para la inyección de vapor y/u otros agentes reductores de la viscosidad, o para la entrada de materiales de hidrocarburos desde el yacimiento hacia el tubo y, por lo tanto, hacia la tubería de producción. Los segmentos de tubería que tienen puertos también se proporcionan frecuentemente con uno o más dispositivos de filtrado, tales como tamices de arena, que sirven para prevenir o mitigar la entrada de arena y otros restos sólidos en el pozo a la tubería. Como se conoce en la técnica, debido a la longitud de la tubería que se usa en un pozo de hidrocarburos típico (que puede estar en el intervalo de varios miles de metros), a menudo se deben tomar medidas para asegurar que la inyección de vapor y/u otros de tales materiales se logra uniformemente a lo largo de la tubería, o en ubicaciones específicas deseadas, para evitar la estimulación preferencial de una o más regiones del yacimiento sobre otras. A menudo también se requieren medidas similares para garantizar que ocurra una producción uniforme de materiales de hidrocarburos a lo largo de la tubería de producción.

Se han propuesto varios dispositivos para controlar las velocidades de producción y/o inyección entre la tubería y un yacimiento. En algunos casos, un dispositivo tal como un limitador de flujo o una tobera similar se asocia con el "tubo de base" de la tubería para impedir el flujo de fluidos que entran o salen del tubo. En las siguientes referencias se describen ejemplos de tales dispositivos de control de flujo: US 9,518,455; 9,638,000; US 9,027,642; US 7,419,002; US 8,689,883; y, US 9,249,649.

Existe la necesidad de un medio de control de flujo mejorado para controlar el flujo del vapor inyectado en un yacimiento.

RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN

En un aspecto, la presente descripción proporciona una tobera para la inyección de vapor que tiene una estructura para ajustar las características de presión y velocidad del vapor de una manera predeterminada. La tobera logra esto al estar provista de una geometría interna que ajusta las características de flujo de un fluido, como el vapor, que fluye a través de la misma. En otro aspecto, se proporciona un aparato de inyección de vapor para inyectar vapor en un yacimiento, que comprende un tubo de base y una o más toberas descritas en la presente descripción.

En otro aspecto, se proporciona un método para adaptar las características de flujo de un fluido, como el vapor, pero sometiendo el fluido a regiones contraídas y divergentes.

Por lo tanto, en un aspecto, se proporciona una tobera de inyección de vapor para un tubo, la tobera que tiene:

- una entrada y una salida y un pasaje que se extiende desde la entrada hasta la salida, el pasaje que comprende:
- una sección de disipación de presión aguas abajo de la entrada, la sección de disipación de presión que comprende:
- 5 - una primera zona de convergencia aguas abajo de la entrada, la primera zona de convergencia que comprende una región de área de sección transversal que disminuye;
- una primera zona de divergencia aguas abajo de la primera zona de convergencia, la primera zona de divergencia que comprende una región de área de sección transversal creciente; y,
- una primera región, aguas abajo de la primera zona de divergencia, que comprende una
- 10 región de área de sección transversal generalmente constante; y,
- una sección de recuperación de presión aguas abajo de la sección de disipación de presión y aguas arriba de la salida, la sección de recuperación de presión que comprende:
- una segunda zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal creciente.
- 15 En otro aspecto, la sección de recuperación de presión de la tobera de inyección de vapor comprende además:
- una segunda zona de convergencia aguas abajo de la zona de disipación de presión y aguas arriba de la segunda zona de divergencia, la segunda zona de convergencia que comprende una región de área de sección transversal reducida.
- 20 En otro aspecto, la sección de recuperación de presión de la tobera de inyección de vapor comprende además:
- una segunda región, aguas abajo de la segunda zona de convergencia y aguas arriba de la segunda zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal generalmente constante.
- 25 En otro aspecto, se proporciona un aparato para la inyección de vapor en un yacimiento subterráneo, el aparato que comprende:
- un tubo de base para comunicar fluidos desde la superficie al yacimiento subterráneo, el tubo de base que tiene al menos un puerto que se extiende a través de la pared del mismo, el puerto que se adapta para permitir el paso de vapor desde el tubo de base hacia el yacimiento;
- 30 - una tobera proporcionada en el puerto o adyacente al mismo y que se retiene contra el tubo de base;
- la tobera que comprende:
- una entrada y una salida y un pasaje que se extiende desde la entrada hasta la salida, el pasaje que tiene:
- 35 - una sección de disipación de presión aguas abajo de la entrada, la sección de disipación de presión que comprende:
- una primera zona de convergencia aguas abajo de la entrada, la primera zona de convergencia que comprende una región de área de sección transversal que disminuye;
- una primera zona de divergencia aguas abajo de la primera zona de convergencia, la primera
- 40 zona de divergencia que comprende una región de área de sección transversal creciente; y,

- una primera región, aguas abajo de la primera zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal generalmente constante; y,
- una sección de recuperación de presión aguas abajo de la sección de disipación de presión y aguas arriba de la salida, la sección de recuperación de presión que comprende:

5 - una segunda zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal creciente.

En otro aspecto, se proporciona un método para inyectar vapor en un yacimiento subterráneo, el método que comprende:

10 - inyectar vapor desde la superficie hacia el yacimiento a través de un tubo de base, el tubo de base que tiene al menos un puerto que se extiende a través de la pared del mismo y una tobera asociada con el puerto, en donde el vapor pasa desde el puerto a través de una entrada de la tobera y a través de una salida de la tobera y hacia el yacimiento;

- en donde, durante el paso a través de la tobera, el vapor inyectado:

15 (a) se somete a una disipación de presión aguas abajo de la entrada, la disipación de presión que implica:

- hacer pasar el vapor a través de una primera zona de convergencia aguas abajo de la entrada, la primera zona de convergencia que comprende una región de área de sección transversal que disminuye;

20 - hacer pasar el vapor a través de una primera zona de divergencia aguas abajo de la primera zona de convergencia, la primera zona de divergencia que comprende una región de área de sección transversal creciente; y,

- hacer pasar el vapor a través de una primera región, aguas abajo de la primera zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal generalmente constante; y,

25 (b) se somete a una recuperación de presión después de la disipación de presión, la recuperación de presión que comprende:

- hacer pasar el vapor a través de una segunda zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal creciente.

30 En otro aspecto, la etapa (b) del método comprende además hacer pasar el vapor a través de una segunda zona de convergencia aguas abajo de la primera región y aguas arriba de la segunda zona de divergencia, la segunda zona de convergencia que comprende una región de área de sección transversal que disminuye.

35 En otro aspecto, la etapa (b) del método comprende además hacer pasar el vapor a través de una segunda región, aguas abajo de la segunda zona de convergencia y aguas arriba de la segunda zona de divergencia, que comprende una región de área de sección transversal generalmente constante.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

40 Las características de ciertas modalidades se harán más evidentes en la siguiente descripción detallada en la que se hace referencia a las figuras adjuntas en donde:

La Figura 1 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de inyección de vapor de acuerdo con un aspecto de la descripción.

La Figura 2 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de inyección de vapor de acuerdo con otro aspecto de la descripción.

- 5 Las Figuras 3 a 5 son vistas laterales en sección transversal de variaciones de la tobera de inyección de vapor mostrada en la Figura 2.

La Figura 6 ilustra la relación entre la presión y la velocidad del fluido cuando pasa a través de una tobera como se describe en la presente descripción.

- 10 La Figura 7 es una vista superior de un tubo que incluye una tobera como se describe en la presente descripción.

La Figura 8 es una vista lateral en sección transversal del tubo y la tobera de la Figura 7.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 15 Como se usa en la presente descripción, los términos "tobera" o "inserto de tobera" se entenderá que significa un dispositivo que controla el flujo de un fluido que fluye a través del mismo. En un ejemplo, la tobera descrita en la presente descripción sirve para controlar el flujo de un fluido a través de un puerto en un tubo en al menos una dirección.

El término "hidrocarburos" se refiere a compuestos de hidrocarburos que se encuentran en yacimientos subterráneos. Los ejemplos de hidrocarburos incluyen petróleo y gas.

- 20 El término "hoyo" se refiere a un pozo perforado en una formación subterránea, tal como una formación que contiene hidrocarburos.

El término "fluidos del hoyo" se refiere a hidrocarburos y otros materiales contenidos en un yacimiento que pueden entrar en un hoyo.

- 25 Los términos "tubo" o "tubo de base" se refieren a una sección de tubo u otro miembro tubular similar. El tubo de base se proporciona generalmente con una o más aberturas, denominadas puertos o ranuras, a lo largo de su longitud para permitir el flujo de fluidos a través de ellos. A los efectos de la presente descripción, el término "puerto" se usará para indicar tales aberturas, como se conocería en la técnica.

El término "producción" se refiere al proceso de producir fluidos del hoyo.

- 30 El término "tubería de producción" se refiere a una serie de tubos, o tubulares, conectados entre sí y que se extienden a través de un hoyo desde la superficie hacia el yacimiento.

- 35 Los términos "tamiz", "tamiz de arena", "tamiz de alambre" o "tamiz de envoltura de alambre", como se usan en la presente descripción, se refieren a dispositivos de filtrado o tamizado conocidos que se usan para inhibir o prevenir que la arena u otro material sólido del yacimiento fluya hacia el tubo. Tales tamices pueden incluir tamices de envoltura de alambre, tamices perforados con precisión, tamices de malla metálica o cualquier otro tamiz que se proporcione en un tubo de base para filtrar fluidos y crear un canal de flujo anular. La presente descripción no se limita a ningún tamiz particular descrito en la presente descripción.

Los términos "comprende", "comprenden", "comprendido" o "que comprende" pueden usarse en la presente descripción. Como se usa en la presente (que incluye la descripción y/o las reivindicaciones), estos términos deben interpretarse como que describen la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes declarados, pero no como que
5 excluyen la presencia de una o más otras características, números enteros, etapas, componentes o un grupo de los mismos como resultará evidente para las personas expertas en la técnica relevante.

En la presente descripción, pueden usarse los términos "superior", "inferior", "frontal" y "trasero". Se entenderá que el uso de tales términos es puramente con el propósito de facilitar
10 la presente descripción y no se pretende que sean limitantes de ninguna manera a menos que se indique de cualquier otra manera. Por ejemplo, a menos que se indique de cualquier otra manera, estos términos no pretenden limitar la orientación o colocación de los elementos o estructuras descritos.

Como se describe en la presente descripción, se proporciona una tobera que puede incorporarse en un dispositivo de control de salida de vapor, "OCD", que tiene como objetivo estrangular o ahogar el flujo de vapor desde el lumen de un tubo a través de un puerto proporcionado en la pared del tubo. Aunque en la presente descripción se hará referencia al flujo de vapor, se entenderá que los dispositivos descritos en la presente descripción serían aplicables a cualquier fluido. Como se indicó anteriormente, en un proceso de inyección de
15 vapor se desea que el flujo de vapor se produzca de manera uniforme a lo largo de una tubería determinada. También se desea lograr un caudal de vapor deseado a través del tubo (o tubería) sin la necesidad de aumentar la presión de suministro del vapor (es decir, la presión del vapor aguas arriba de la tobera). Por ejemplo, se desea proporcionar una tobera para la inyección de vapor que permita inyectar vapor a velocidades muy altas (tales como velocidades sónicas o supersónicas) sin necesidad de aumentar la presión de inyección de vapor aguas arriba. Las
20 toberas descritas en la presente descripción sirven para lograr al menos uno de estos objetivos.

Como entenderán los expertos en la técnica, las toberas descritas en la presente descripción están diseñadas para incluirse como parte de un aparato asociado con las tuberías. Es decir,
30 las toberas se adaptan para fijarse a las tuberías, en la cercanía de uno o más puertos proporcionados en las tuberías. Las toberas se mantienen en posición por cualquier medio, tal como collares o similares comúnmente asociados con los dispositivos de control de arena, tales como tamices de envoltura de alambre, etc. En otro aspecto, las presentes toberas pueden ubicarse dentro de ranuras o aberturas cortadas en la pared del tubo o tubería. Se
35 entenderá que los medios y el método para asegurar la tobera al tubo no se limitan a las descripciones específicas proporcionadas en la presente descripción y que pueden usarse cualquier otro medio o método, mientras se conserva aún la funcionalidad descrita en la presente descripción. Una vez que el vapor sale de la tobera, se puede desviar en una o más direcciones antes de salir finalmente hacia el yacimiento.

La Figura 1 ilustra un aspecto de una tobera de acuerdo con la presente descripción. Como se muestra, la tobera 10 comprende una entrada 12 y una salida 14 y un pasaje que se extiende a través de ellas. El vapor fluye a través de la tobera 10 en la dirección que muestra la flecha 11. La entrada 12 recibe vapor desde el interior de un tubo (no mostrado). Después de pasar a través de la tobera 10, el vapor sale a través de la salida 14. Como se describió anteriormente, y como entenderán los expertos en la técnica, después de salir de la salida 14, el vapor puede entrar directamente en el yacimiento o puede pasar a través de un desviador o similar. En la Figura 1, la tobera 10 se representa con un pasaje generalmente cilíndrico que se extiende a través de ella. Sin embargo, se entenderá que el pasaje puede tener cualquier forma, como cuadrada, rectangular, etc. Los expertos en la técnica apreciarán diversas formas del pasaje. Sin embargo, con fines ilustrativos, la presente descripción se describirá con referencia a una tobera que tiene un pasaje generalmente cilíndrico. Aunque se preferiría tal configuración, no se pretende limitar la presente descripción a ninguna forma o perfil particular de la tobera o el pasaje a través de la misma.

La tobera 10 comprende una primera sección 16 y una segunda sección 18. La primera sección 16 de la tobera 10 comprende un Venturi, que tiene un perfil convergente/divergente en sección transversal, como se muestra en la Figura 1. Más particularmente, y como se ilustra, la entrada 12 de la tobera 10 incluye una abertura 20 de una primera área de sección transversal. En un ejemplo, la abertura 20 tiene una forma de sección transversal de extremo generalmente circular. La sección transversal, o área de sección transversal, de la entrada 12 se reduce luego a lo largo de la dirección 11 para crear una primera zona de convergencia 22 donde el flujo de vapor es forzado a través de un pasaje más estrecho o garganta. Como se entenderá, en la primera zona de convergencia 22, la presión del vapor que fluye a través de la tobera 10 se reduce mientras aumenta su velocidad. En el ejemplo ilustrado en la Figura 1, que ilustra una geometría generalmente cilíndrica, el primer diámetro de la abertura 20 puede ser de aproximadamente 12 mm, mientras que el diámetro más estrecho de la zona de convergencia 22 puede ser de aproximadamente 4 mm. Se entenderá que, para secciones transversales de otras geometrías, las dimensiones antes mencionadas pueden ser las dimensiones mínimas. Por ejemplo, para una sección transversal rectangular, la zona de convergencia puede tener una altura de 4 mm y un ancho que es más largo.

Inmediatamente después de la primera zona de convergencia 22, la tobera 10 incluye una región de área de sección transversal que se ensancha, dando como resultado una primera zona de divergencia 24. Esta sección de la tobera 10 tiene un área de sección transversal creciente, de manera que, para el vapor que fluye a través de la misma, se recupera al menos parte de la presión perdida al pasar a través de la primera zona de convergencia 22. Como se muestra en el ejemplo de la Figura 1, donde la tobera 10 tiene una abertura generalmente cilíndrica, el diámetro de la tobera 10 puede aumentar hasta aproximadamente 5,2 mm en la primera zona de divergencia 24. Como se discutió anteriormente, las toberas descritas en la presente descripción no están limitadas a ninguna geometría de sección transversal particular.

Además, todas las dimensiones proporcionadas en la presente descripción están destinadas únicamente a ilustrar la tobera y no pretenden limitar el alcance de la descripción.

Como se muestra en la Figura 1, la primera zona de convergencia 22 y la primera zona de divergencia 24 pueden proporcionarse con transiciones relativamente suaves en el pasaje que se extiende a través de la tobera 10. Es decir, el pasaje de la tobera 10 puede proporcionarse con paredes gradualmente curvadas como se muestra en la Figura 1. Esto puede ser conveniente para evitar turbulencias en el fluido que fluye a través de la tobera 10. Sin embargo, en algunos casos, el pasaje a través de la tobera puede tener paredes rectas, de manera que las primeras zonas de convergencia y divergencia todavía se forman de manera suave pero sin las paredes curvas como se ilustra.

En el ejemplo de la tobera mostrada en la Figura 1, aguas abajo de la primera zona de divergencia 24 se proporciona una primera región de área de sección transversal constante 26, donde el área de sección transversal de la tobera 10 se mantiene generalmente constante para una cierta longitud. Como se usa a lo largo de esta descripción, el término "generalmente constante" se entenderá que significa que la cantidad en cuestión (tal como el área de sección transversal) puede ser la misma o variar en algún grado sin consecuencias. Por ejemplo, la variación puede ser de +/- 10 %.

En un aspecto, la primera región 26 comprende una región generalmente cilíndrica que tiene un diámetro generalmente constante. Como se discutió anteriormente, se entenderá que la primera región 26 puede tener cualquier otra geometría en sección transversal, tal como cuadrada, rectangular, etc. En un ejemplo, la primera región de área de sección transversal constante 26 puede tener un diámetro, o dimensión mínima, de aproximadamente 5,2 mm.

Como se muestra en la Figura 1, la segunda sección 18 de la tobera 10 se proporciona aguas abajo (es decir, en la dirección 11) de la primera zona de divergencia 24. Generalmente, la segunda sección 18 sirve para recuperar la presión del vapor que se pierde al pasar a través de la primera sección de Venturi 16. En el aspecto mostrado en la Figura 1, la segunda sección o sección de recuperación de presión 18, como se ilustra, logra la recuperación de presión al crear una serie de ondas de choque en el vapor que pasa a través de la tobera 10. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, la geometría de la tobera 10 da como resultado la generación de múltiples ondas de choque en el flujo de vapor, con tales ondas de choque que se propagan en direcciones oblicuas con respecto a la dirección del flujo 11, y al menos otra onda de choque en el vapor que fluye que es normal a la dirección del flujo 11. Específicamente, en el ejemplo ilustrado en la Figura 1, la segunda sección 18 comprende una segunda zona de convergencia 28, donde el área de sección transversal del pasaje a través de la tobera 10 se reduce nuevamente, esta vez aguas abajo de la primera zona de divergencia 24. En el ejemplo mostrado, la segunda zona de convergencia 28 de la segunda sección 18 se proporciona con paredes generalmente rectas, lo que da como resultado, en un aspecto, una geometría cónica para la segunda zona de convergencia 28. Aguas abajo de la segunda zona de convergencia 28, la segunda sección 18 se proporciona con una segunda región de área de sección transversal generalmente constante 30, donde el área de sección transversal del pasaje de la

tobera 10 es generalmente constante para una longitud. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, la segunda zona de convergencia 28 puede tener una longitud de aproximadamente 20 mm y la segunda región de área de sección transversal generalmente constante 30 puede tener una longitud de aproximadamente 50 mm. Se entenderá que la presente descripción no se limita a dimensiones o longitudes particulares, etc. Como también se muestra en el ejemplo de la Figura 1, la segunda zona de convergencia 28 puede comprender un área de sección transversal reducida del pasaje a través de la tobera 10 de aproximadamente 5,2 mm (es decir, el diámetro de la región de diámetro constante 26) a aproximadamente 4,5 mm. Esta área de sección transversal se mantiene luego a través de la segunda región de área de sección transversal generalmente constante 30.

Aguas abajo de la segunda región 30, la segunda sección, o sección de recuperación de presión 18 de la tobera 10 se proporciona con una segunda zona de divergencia 32, que comprende una zona de área de sección transversal que se expande del pasaje a través de la tobera 10. En el ejemplo ilustrado en la Figura 1, la segunda zona de divergencia 32 de la segunda sección 18 comprende una forma generalmente cónica, con paredes generalmente rectas donde el diámetro de la segunda zona de divergencia 32 aumenta gradualmente. Aunque esta descripción se ofrece en términos de una forma generalmente circular del pasaje, se entenderá que otras formas de sección transversal están dentro del alcance de la presente descripción. Como se muestra, la segunda zona de divergencia 32 termina en la salida 14 de la tobera 10.

En el ejemplo mostrado en la Figura 1, la segunda zona de divergencia 32 puede tener una longitud de aproximadamente 30 mm y un diámetro que aumenta gradualmente de aproximadamente 4,5 mm (el diámetro de la región cilíndrica 30) a aproximadamente 15 mm. Como se discutió anteriormente, el término "diámetro" como se usa en la presente puede referirse a la dimensión mínima para geometrías de sección transversal no circular. Como también se mencionó anteriormente, los valores de las longitudes y otras dimensiones no pretenden limitar la presente descripción de ninguna manera. Las toberas descritas en la presente descripción pueden ser de cualquier tamaño o dimensión.

En funcionamiento, el vapor (u otro fluido) que pasa a través de la primera sección de Venturi 16, entra en la segunda sección de recuperación de presión 18 y se encuentra con la primera sección de convergencia 28 y la primera región de área de sección transversal generalmente constante 30. La primera sección de convergencia 28 y la primera región 30 dan como resultado la generación de una pluralidad de primeras ondas de choque de presión que reverberan a través del vapor en direcciones oblicuas con respecto a la dirección del flujo 11. Además, la segunda zona de divergencia 32 de la segunda sección de recuperación de presión 18 sirve para generar segundas ondas de choque de presión adicionales en el vapor. Las segundas ondas de choque se propagarían generalmente en una dirección normal a la del vapor que fluye (es decir, la flecha 11). La generación de tales ondas de choque múltiples en el vapor da como resultado un aumento en la presión del vapor dentro de la tobera 10, lo que resulta en la recuperación de al menos parte de la presión perdida como resultado del vapor

que fluye a través de la primera sección de Venturi 16. Los inventores han descubierto que la presión del vapor que pasa a través de un Venturi, como la primera sección 16, puede reducirse aproximadamente en un 47 %, lo cual es bastante significativo y puede requerir aumentar la presión del vapor aguas arriba para mitigar tal pérdida. Sin embargo, con la tobera 10 de la Figura 1, la presencia de la segunda sección de recuperación de presión 18 sirve para recuperar al menos una porción de tal pérdida de presión. Por ejemplo, los inventores han descubierto que, con las toberas descritas en la presente descripción, se puede recuperar aproximadamente de 78-85 % de la pérdida de presión. En consecuencia, en lugar de una reducción de presión del 47 % como se indicó anteriormente, las toberas descritas en la presente descripción dan como resultado solo una reducción de presión del 7-10 % en el fluido cuando pasa a través de la tobera 10. Esta característica de recuperación de presión se discute adicionalmente más abajo en referencia a la Figura 6. Por lo tanto, mediante el uso de una tobera 10 como se describe en la presente descripción, se evitaría la necesidad de aumentar la presión del vapor aguas arriba.

La Figura 2 ilustra otro aspecto de la tobera descrita en la presente descripción, en donde los elementos que son similares a los descritos anteriormente en relación con la Figura 1 se identifican con números de referencia iguales pero con el prefijo "1". Como se muestra en la Figura 2, una tobera 110 incluye una entrada 112 y una salida 114 en los extremos opuestos de un pasaje que se extiende a través de la tobera 110. Como antes, el vapor que pasa a través de la tobera 110 fluye en la dirección 11. La tobera 110 incluye una primera sección o sección de Venturi 116 que tiene una primera zona de convergencia 122 y una primera zona de divergencia 124. El vapor (u otro fluido) de un tubo entra en una abertura 120 de la primera zona de convergencia 122, pasa a través de la primera zona de convergencia 122 y luego a través de la primera zona de divergencia 124. Una primera región de área de sección transversal generalmente constante 126, o "primera región 126", se proporciona aguas abajo de la primera zona de divergencia 124 de la sección de Venturi 116. De manera similar a lo que se describió anteriormente, el fluido (vapor) que fluye a través de la primera zona de convergencia 122 gana velocidad pero pierde presión. Parte de la presión perdida se recupera en la primera región 126 después de la primera zona de divergencia 124; sin embargo, todavía existiría una diferencia de presión significativa entre los extremos aguas arriba y aguas abajo de la sección de Venturi 116.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 2, la segunda sección de recuperación de presión 118 comprende sólo una segunda zona de divergencia 132, que funciona de la misma manera que la segunda zona de divergencia 32 descrita en relación con la Figura 1. Por lo tanto, la segunda zona de divergencia 132 de la sección de recuperación de presión 118 crea ondas de choque que son generalmente normales a la dirección del flujo 11 del vapor. Como resultado, se logra al menos una recuperación parcial de la presión de vapor perdida de la misma manera que se discutió anteriormente.

En las figuras mostradas en la presente descripción, las zonas de convergencia y divergencia se ilustran con ciertos grados de cambio. Se entenderá que el pasaje que se extiende a través

de la tobera puede proporcionarse con cualquier variación en tales geometrías. De esta manera, la velocidad de convergencia o divergencia del área de sección transversal del pasaje puede proporcionarse en la tobera de cualquier manera deseada.

Las Figuras 3 a 5 ilustran diferentes variaciones de la tobera como se representa en la Figura 2. En las Figuras 3 a 5, los elementos que son similares a los de la Figura 2 se identifican con los mismos números de referencia, pero con los sufijos "a", "b" y "c", respectivamente, para mayor claridad. Como puede verse, las variaciones mostradas en las Figuras 3 a 5 se encuentran principalmente en la primera sección de Venturi 116a, 116b y 116c. En particular, las aberturas 120a, 120b y 120c de las primeras zonas de convergencia 122a, 122b y 122c se ilustran con diferentes tamaños relativos. A manera de ejemplo, la abertura 120a puede tener un diámetro de 6 mm, la abertura 120b puede tener un diámetro de 9 mm y la abertura 120c puede tener un diámetro de 12 mm. Como se discutió anteriormente, el término "diámetro" se aplicaría generalmente a un elemento que tiene una sección transversal circular. Para pasajes que tienen secciones transversales no circulares, las dimensiones indicadas anteriormente pueden comprender la dimensión mínima de la abertura.

La Figura 6 ilustra las curvas de presión y velocidad del fluido para un fluido que fluye a través de una tobera tal como la tobera de cualquiera de las Figuras 2 a 5. La curva de presión en la Figura 6 se ilustra con la línea discontinua 200 y la curva de velocidad del fluido, indicada por el número de Mach, se ilustra con la línea continua 202. Como puede verse, un fluido, que fluye en la dirección 11, entra en la tobera a alta presión, como se muestra en 204, y baja velocidad, como se muestra en 206. Al pasar a través de la primera zona de convergencia, se ve que la presión del fluido se reduce considerablemente, como se muestra en 208, mientras que la velocidad del fluido se vuelve supersónica (es decir, la velocidad excede Mach 1 en las condiciones locales), como se muestra en 210. Después de la primera zona de divergencia, se observa que la presión del fluido se recupera parcialmente, como se muestra en 212, y que la velocidad del fluido se reduce a niveles subsónicos, como se muestra en 214. Sin embargo, cuando el fluido sale a través de la segunda zona de divergencia, la presión se recupera casi por completo, como se muestra en 216, y la velocidad del fluido vuelve a un valor cercano a la velocidad de entrada, como se muestra en 218. Por lo tanto, la Figura 6 ilustra la eficacia de la tobera descrita en la presente descripción.

Las Figuras 7 y 8 ilustran esquemáticamente un ejemplo de cómo las toberas descritas en la presente descripción pueden proporcionarse en un tubo de base. Como se muestra, el tubo de base 300 incluye generalmente un tamiz 310, tal como un tamiz de envoltura de alambre o similar (como se conoce en la técnica), que se fija al tubo 300 mediante un collar 311 o similar. Para facilitar la ilustración, el tamiz y el collar no se muestran en la Figura 8. El tubo 300 incluye al menos un puerto, tal como se muestra en 312 y 314, para permitir que los fluidos fluyan a través del mismo. Las toberas 316 y 318, tales como una tobera como se describió en la presente descripción, se colocan en uno o más de los puertos 312 y 314. En el aspecto ilustrado, ambos puertos se proporcionan con toberas. En un aspecto, el vapor

inyectado en el lumen del tubo 300 sale a través del puerto y a través de las toberas. Entonces, el vapor entra, o se inyecta, en el yacimiento (no mostrado) a través del tamiz 310.

En otro aspecto de la presente descripción, se proporciona un sistema de tuberías para un hoyo, en donde se proporciona una pluralidad de las toberas de inyección de vapor descritas en la presente descripción a lo largo de tales tuberías. Se entenderá que tales toberas pueden ser iguales o diferentes.

En otro aspecto, se proporciona un sistema de tratamiento de pozos SAGD o CSS, en donde el sistema comprende una o más tuberías de inyección que tienen una pluralidad de las toberas de inyección de vapor descritas en la presente descripción. Se entenderá que tal sistema tiene el suministro de vapor y el aparato de bombeo necesarios para inyectar vapor a través de las tuberías y finalmente a través de las toberas.

Aunque la descripción anterior incluye referencia a ciertas modalidades específicas, para los expertos en la técnica serán evidentes diversas modificaciones de las mismas. Cualquier ejemplo proporcionado en la presente descripción se incluye únicamente con el propósito de ilustración y no pretende ser limitante de ninguna manera. En particular, las dimensiones o cantidades específicas a las que se hace referencia en la presente descripción están destinadas únicamente a ilustrar uno o más aspectos específicos, no están destinadas a limitar la descripción de ninguna manera. Los dibujos proporcionados en la presente descripción tienen únicamente el propósito de ilustrar varios aspectos de la descripción y no están destinados a ser dibujados a escala ni a ser limitantes de ninguna manera. El alcance de las reivindicaciones adjuntas no debería estar limitado por las modalidades preferidas expuestas en la descripción anterior, sino que debería recibir la interpretación más amplia coherente con la presente descripción en su conjunto. Las descripciones de toda la técnica anterior enumeradas en la presente descripción se incorporan en la presente como referencia en su totalidad.