

SISTEMA Y TOBERA DE CONTROL DE FLUJO

REFERENCIA CRUZADA A LAS SOLICITUDES RELACIONADAS

La presente descripción reivindica la prioridad según el Convenio de París de la Solicitud de Estados Unidos Núm. 62/694,977, publicada el 7 de julio de 2018, y la Solicitud de Estados Unidos Núm. 62/695,625, publicada el 9 de julio de 2018. Los contenidos de estas solicitudes anteriores se incorpora en la presente descripción como referencia en su totalidad.

CAMPO DE LA DESCRIPCIÓN

La presente descripción se refiere a dispositivos de control de flujo usados para controlar el flujo de fluidos hacia un miembro tubular. En un ejemplo particular, los dispositivos de control de flujo descritos controlan o estrangulan, el flujo de vapor desde las formaciones subterráneas hacia la tubería de producción.

ANTECEDENTES

Generalmente se accede a los yacimientos de hidrocarburos subterráneos mediante uno o más pozos que se perforan en el yacimiento para acceder a los materiales de hidrocarburos. Estos materiales se llevan luego a la superficie a través de tubería de producción.

Los hoyos perforados en los yacimientos pueden ser verticales u horizontales o con cualquier ángulo entre ellos. En algunos casos, los hidrocarburos deseados comprenden un material muy viscoso, tal como petróleo pesado, betún y similares. En tales casos, se conoce que se emplea vapor, gas u otros fluidos, típicamente de una densidad más baja, para ayudar en la producción de los materiales de hidrocarburos deseados. Estos agentes se inyectan típicamente 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 donde se usa vapor para estimular el flujo de materiales de hidrocarburos altamente viscosos (tal como petróleo pesado, betún, etc. contenidos en arenas que contienen petróleo). En una operación de SAGD, se perforan en un yacimiento uno o más pares de pozos, donde cada par típicamente comprende dos pozos horizontales separados verticalmente. 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 colocado generalmente en posición vertical por encima del pozo de producción. En funcionamiento, se inyecta 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, drena hacia pozo de producción inferior debido al efecto de la gravedad, y subsecuentemente se lleva a la superficie a través de la tubería de producción.

La estimulación cíclica con vapor, “CSS”, es otro método de producción de hidrocarburos donde se usa vapor para mejorar la movilidad de los materiales de hidrocarburos viscosos. La primera etapa de un proceso CSS implica la inyección de vapor en una formación que

contiene hidrocarburos a través de uno o más pozos durante un período de tiempo. El vapor se inyecta a través de una tubería que se proporciona en los pozos. En una segunda etapa, se detiene la inyección de vapor y el pozo se deja en tal estado durante otro período de tiempo que sea suficiente para permitir que el calor del vapor inyectado sea absorbido en el yacimiento. Esta etapa se denomina “cierre” o “remojo”) durante la cual se reduce la viscosidad del material de hidrocarburo. Finalmente, en una tercera etapa, los hidrocarburos, ahora movilizados, se producen, a menudo a través de los mismos pozos que se usaron para la inyección de vapor. El proceso de CSS puede repetirse según sea necesario.

La tubería mencionada anteriormente comprende típicamente varios segmentos de tubo coaxial, o tubulares, que están conectados entre sí. A menudo se proporcionan varias herramientas a lo largo de la tubería y se conectan coaxialmente a tubulares adyacentes. La tubería, para inyección de vapor o producción de hidrocarburos, generalmente incluye una serie de aberturas, o puertos, a lo largo de su longitud, particularmente en las regiones donde la tubería se proporciona en regiones de la formación que contienen hidrocarburos. Los puertos proporcionan un medio para la inyección de vapor y/u otros agentes reductores de la viscosidad desde la superficie al yacimiento, y/o para la entrada de materiales de hidrocarburos desde el yacimiento al interior de la tubería y finalmente a la superficie. Los segmentos de tubería que tienen puertos también a menudo se proporcionan con uno o más dispositivos de filtrado, tal como rejillas de arena y similares, que sirven para evitar o mitigar la entrada a la tubería de arena y otros restos sólidos en el pozo.

Como se conoce en la técnica, particularmente cuando se usa vapor para estimular la producción de materiales de hidrocarburos pesados, el vapor entra preferentemente en la tubería de producción con respecto a los materiales de hidrocarburos deseados. Esto ocurre generalmente en vista del hecho de que el vapor tiene una densidad más baja que el material de hidrocarburo y por lo tanto es más móvil o fluido. Este problema se enfrenta, por ejemplo, en las operaciones SAGD donde el vapor del pozo de inyección viaja o penetra a través de la formación de hidrocarburos y se produce preferentemente en el pozo de producción.

Para abordar el problema mencionado anteriormente, a menudo se realizan etapas para limitar, o “restringir” o “estrangular”, el flujo de vapor en la tubería de producción y, de esta manera, aumentar la velocidad de producción de materiales de hidrocarburo. Con este fin, se propusieron varias toberas y otros dispositivos diseñados para limitar el flujo de vapor hacia la tubería de producción. En algunos casos, se proporciona un dispositivo tal como un limitador de flujo o una tobera similar en un “tubo de base” de la tubería para impedir la entrada de vapor. Ejemplos de tales dispositivos de control de flujo se describen en: los documentos US 9,638,000; US 7,419,002; US 8,496,059; y US 2017/0058655. Otro aparato para estrangular con vapor se describe en la solicitud PCT copendiente del presente solicitante, WO 2019/090425, cuyo contenido completo se incorpora en la presente descripción como referencia.

Existe la necesidad de unos medios de control de flujo mejorados para controlar o limitar la introducción de vapor en la tubería de producción.

RESUMEN DE LA DESCRIPCION

En un aspecto, se proporciona una tobera para controlar el flujo en un tubo, el tubo tiene al menos un puerto a lo largo de su longitud, la tobera se adapta para ubicarse en el exterior del tubo, adyacente a uno de los al menos un puerto, y en donde la tobera estrangula el flujo de vapor mientras permite preferentemente el flujo de hidrocarburos y líquidos que contienen hidrocarburos.

En un aspecto, se proporciona un sistema para controlar el flujo de fluidos desde un yacimiento subterráneo que contiene hidrocarburos hacia la tubería de producción, el sistema comprende:

- un segmento de tubo que se adapta para formar una sección de la tubería de producción, el segmento de tubo tiene un primer extremo y un segundo extremo y al menos un puerto que se extiende a través de la pared del mismo para conducir los fluidos del yacimiento hacia el segmento de tubo;
- al menos una tobera que se proporciona en el segmento de tubo, la tobera tiene una entrada para recibir los fluidos del yacimiento, una salida que se dispone en comunicación de fluidos con el al menos un puerto, y un canal de transporte de fluido, que se extiende entre la entrada y la salida, para canalizar fluidos del yacimiento en una primera dirección desde la entrada hasta la salida;
- el canal de transporte de fluido tiene:
 - una primera región convergente, cerca de la entrada, la primera región convergente tiene un área de sección transversal reductora en la primera dirección;
 - una región divergente, cerca de la salida, la región divergente tiene un primer extremo que tiene un primer diámetro y un segundo extremo colocado en la salida y que tiene un segundo diámetro, en donde el primer diámetro es menor que el segundo diámetro y en donde la región divergente tiene un área de sección transversal creciente con respecto a al menos una porción de la misma en la primera dirección; y,
 - una esquina que define el primer extremo de la región divergente.

En otro aspecto, se proporciona una tobera para controlar el flujo de fluidos desde un yacimiento subterráneo hacia un puerto que se proporciona en un tubo, la tobera está adaptada para ubicarse en el exterior del tubo adyacente al puerto, la tobera tiene una entrada para recibir fluidos del yacimiento, una salida dispuesta en comunicación de fluidos con el puerto y un canal de transporte de fluido, que se extiende entre la entrada y la salida, para canalizar los fluidos del yacimiento en una primera dirección desde la entrada hasta la salida;

- el canal de transporte de fluido tiene:
 - una primera región convergente, cerca de la entrada, la primera región convergente tiene un área de sección transversal reductora en la primera dirección;
 - una región divergente, cerca de la salida, la región divergente tiene un primer extremo que tiene un primer diámetro y un segundo extremo colocado en la salida y que tiene un segundo diámetro, en donde el primer diámetro es menor que el segundo diámetro y en donde la región

divergente tiene un área de sección transversal creciente con respecto a al menos una porción de la misma en la primera dirección; y,

- una esquina que define el primer extremo de la región divergente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las características de determinadas modalidades preferidas de la invención 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 control de flujo de entrada de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La Figura 1a es una vista posterior de la entrada de la tobera de la Figura 1.

La Figura 2 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de control de flujo de entrada de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La Figura 3 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de entrada de acuerdo con un aspecto de la presente descripción, en combinación con un tubo.

La Figura 4 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de control de flujo de entrada de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La Figura 5 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de control de flujo de entrada de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La Figura 6a es una ilustración esquemática de las características del flujo de fluido a través de una tobera Venturi.

La Figura 6b es una ilustración esquemática de las características del flujo de fluido a través de la tobera de la Figura 1.

La Figura 7 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de control de flujo de entrada de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La Figura 7a es una vista posterior de la entrada de la tobera de la Figura 1.

La Figura 8a es una vista posterior de la entrada de un ejemplo de la tobera de la Figura 7.

La Figura 8b es una vista lateral en sección transversal de la tobera de la Figura 8a, tomada a lo largo de la línea B-B de la misma.

La Figura 8c es una vista en perspectiva lateral de la tobera de la Figura 8b que muestra la salida de la misma.

La Figura 9a es una vista posterior de la entrada de otro ejemplo de la tobera de la Figura 7.

La Figura 9b es una vista lateral en sección transversal de la tobera de la Figura 9a, tomada a lo largo de la línea B-B de la misma.

La Figura 9c es una vista en perspectiva lateral de la tobera de la Figura 9b que muestra la salida de la misma.

La Figura 10 es una vista lateral en sección transversal de una tobera de control de flujo de entrada de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La Figura 11 es un dibujo esquemático que muestra una porción de la tobera que se muestra en la Figura 10 y dimensiones ilustrativas de la misma.

La Figura 12 ilustra la variación de presión del fluido que fluye a través de la tobera de la Figura 11.

La Figura 13 es una curva de régimen de flujo normalizado que fluye a través de la tobera de la Figura 11.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Como se usa en la presente, los términos “tobera” o “dispositivo de control de flujo”, como se usa en la presente descripción, se entenderá que significa un dispositivo que controla el flujo de un fluido que fluye a través de esta. En un ejemplo, la tobera descrita en la presente descripción es un “dispositivo de control de entrada” o “tobera de control de entrada” que sirve para controlar el flujo de fluidos a través de un puerto desde una formación subterránea hacia un tubo para operaciones de producción. Se entenderá que tales toberas también pueden permitir el flujo de fluidos en una dirección opuesta, tal como en las operaciones de inyección.

Los términos “regular”, “limitar”, “restringir” y “estrangular” pueden usarse en la presente descripción. Se debe entender que estos términos están destinados a describir un ajuste del régimen de flujo de un fluido que pasa a través de las toberas que se describen en la presente descripción. Como se analiza en la presente descripción, las presentes toberas están diseñadas específicamente para bloquear el flujo de un fluido de baja viscosidad, en particular vapor. Para los fines de la presente descripción, se considera que el flujo de un fluido se “estrangula” si una disminución adicional de la presión aguas abajo no da como resultado un aumento en la velocidad del fluido que fluye a través de la restricción. Es decir, la velocidad del fluido es limitada y, como resultado, y asumiendo que todas las demás variables permanecen sin cambios, el régimen de flujo másico del fluido también está limitado.

El término “hidrocarburos” se refiere a compuestos de hidrocarburos que se encuentran en yacimientos subterráneos. Los ejemplos de hidrocarburos incluyen petróleo y gas. Como resultará evidente a partir de la presente descripción, las toberas que se describen en la presente descripción son particularmente adecuadas para yacimientos que contienen aceites pesados o materiales de hidrocarburo de alta viscosidad similares.

El término “hoyo” se refiere a un pozo o un hoyo perforado en una formación subterránea, en particular una formación que contiene hidrocarburos.

El término “fluidos de hoyo” se refiere a hidrocarburos y otros materiales contenidos en un yacimiento que ingresan a un hoyo. La presente descripción no se limita a ningún fluido de hoyo en particular.

Los términos “tubo” o “tubo de base” se refieren a una sección de tubo u otro miembro tubular similar. El tubo de base puede proporcionarse con una o más aberturas o ranuras, que en la presente descripción se denominan colectivamente puertos, en varias posiciones a lo largo de su longitud para permitir el flujo de fluidos a través de estos.

Los términos “producción” o “producir” se refieren al proceso de llevar fluidos de hoyo, en particular los materiales de hidrocarburos deseados, desde un yacimiento a la superficie.

El término “tubería de producción” se refiere a una serie de tuberías, o tubulares, conectados entre sí y que se extienden a través de un hoyo desde la superficie hasta el yacimiento. La tubería de producción puede usarse para producir fluidos de hoyo.

Los términos “rejilla”, “rejilla de arena”, “rejilla de alambre” o “rejilla de envoltura de alambre”, como se usan en la presente descripción, se refieren a dispositivos de filtrado o cribado conocidos que se usan para inhibir o prevenir el flujo de la arena u otro material sólido del yacimiento a la tubería de producción. Tales rejillas pueden incluir rejillas de envoltura de alambre, rejillas perforadas con precisión, rejillas premium o cualquier otra rejilla 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 ninguna rejilla o dispositivo de rejilla en particular.

Los términos “comprende”, “que comprende”, “comprendió” o “comprendiendo” pueden usarse en la presente descripción. Como se usa en la presente descripción (incluyendo la especificación y/o las reivindicaciones), estos términos deben interpretarse como una especificación de la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes indicados, pero no como una exclusión de la presencia de una o más características, números enteros, etapa, componente o un grupo de los mismos como resultará evidente para los expertos en la técnica relevante.

En la presente descripción, pueden usarse los términos “parte superior”, “parte inferior”, “frontal” y “trasera”. Se debe entender que el uso de tales términos es puramente con el fin de facilitar 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 colocación o ubicación de los elementos o estructuras descritos.

La presente descripción se refiere a un dispositivo de control de flujo o tobera, en particular un dispositivo de control de flujo de entrada, para controlar o regular el flujo de fluidos desde un yacimiento a la tubería de producción. Como se discutió anteriormente, tal regulación a menudo se requiere para producir preferentemente materiales de hidrocarburos deseados en lugar de fluidos no deseados, tal como vapor. Como también se discutió anteriormente, la producción de vapor, tal como en una operación SAGD, ocurre comúnmente cuando el vapor tiene una densidad mucho más baja que muchos materiales de hidrocarburos, tal como petróleo pesado y similares. El vapor, al ser mucho más móvil que el petróleo pesado, también viaja preferentemente hacia y dentro de la tubería de producción. Las toberas descritas en la presente descripción sirven, en un aspecto, para restringir o regular la entrada de vapor en la tubería de producción.

Como entenderán los expertos en la técnica, las toberas descritas en la presente descripción se diseñaron preferentemente para incluirse como parte de un aparato asociado con la tubería, un ejemplo del cual se ilustra en la Figura 3 (que se discute más adelante). Esto es, las toberas se adaptan para fijarse a la tubería, en los alrededores de uno o más puertos que se proporcionan en la tubería y sirven para controlar el flujo de fluidos en la tubería después de

filtrarse para eliminar materiales sólidos. Las toberas pueden retenerse en la posición requerida por cualquier medio, tal como collares o similares, comúnmente asociados con los dispositivos de control de arena, tal como rejillas de envoltura de alambre, etc. En un aspecto, las presentes toberas pueden ubicarse o colocarse dentro de ranuras o aberturas cortadas en la pared del tubo o tubería. Se debe entender que los medios y el método para asegurar la tobera a la tubería no se limitan a las descripciones específicas proporcionadas en la presente descripción y que puede usarse cualquier otro medio o método, mientras se retiene la funcionalidad que se describe en la presente descripción.

Las Figuras 1 y 1a ilustran un aspecto de una tobera de acuerdo con la presente descripción. Como se muestra, la tobera 10 comprende un cuerpo generalmente cilíndrico (como se muestra a manera de ejemplo en las Figuras 8c y 9c) que tiene una entrada 12 y una salida 14 y un canal que se extiende a través de este. El fluido fluye a través de la tobera 10 en la dirección que muestra la flecha 11. La entrada 12 recibe fluido de un yacimiento (no se muestra). Después de pasar a través de la tobera 10, el fluido sale por la salida 14. El canal que se extiende entre la entrada 12 y la salida 14 comprende una región convergente-divergente definida por un cuello de tobera 16. Más particularmente, como se muestra en la Figura 1, la entrada 12 se proporciona con un diámetro de entrada d_1 , mientras que el cuello de tobera 16, ubicado aguas abajo de la entrada, se proporciona con un diámetro de cuello de tobera d_2 , que es menor que d_1 . La salida 14 se proporciona con un diámetro de salida d_3 que es mayor que d_2 y, en un aspecto, mayor que d_1 . En otros aspectos, el diámetro de salida d_3 puede ser de dimensión igual o menor que d_1 . Sin embargo, d_3 es preferentemente mayor que d_1 como se entenderá a la vista de la presente descripción.

La entrada 12 está formada con una abertura 13 que se estrecha gradualmente, que forma una región de reducción del área de sección transversal. La abertura 13 tiene preferentemente una pared lisa de acuerdo con un aspecto. Por lo tanto, la abertura 13 tiene generalmente una forma de embudo.

La entrada 12 se extiende hasta el cuello de tobera 16, donde el diámetro de la abertura se reduce a d_2 . El cuello de tobera 16 puede tener cualquier longitud que tenga un diámetro constante o un área de sección transversal.

Como se entenderá a partir de la presente descripción, la longitud de la abertura 13, que se extiende desde la entrada 12 hasta el cuello de tobera 16, y la longitud del cuello de tobera 16 pueden ser de cualquier tamaño y pueden variar en dependencia de las características de los fluidos que se producen. En particular, como se describe a continuación, el propósito de la abertura de estrechamiento 13 y el cuello de tobera 16 es aumentar la velocidad y reducir la presión del fluido que fluye a través de los mismos. Por lo tanto, los expertos en la técnica apreciarán la longitud de la abertura requerida para lograr este resultado basándose en la naturaleza de los fluidos en el yacimiento en cuestión. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de una tobera de acuerdo con la presente descripción y que tiene una sección de cuello de tobera alargado y se describe más adelante.

La porción del canal que se extiende desde el cuello de tobera 16 y en la dirección 11 se proporciona con un diámetro creciente, hasta al menos el diámetro d_3 de la salida 14. De esta manera, la porción del canal de la tobera que se extiende desde la entrada 12 al cuello de tobera 16 comprende una sección convergente 18 y la porción del canal aguas abajo del cuello de tobera 16 y hacia la salida 14 (es decir, en la dirección 11) comprende una sección divergente 20, que se abre en una expansión o región de recuperación de presión 24. Como se entenderá, en la región 20, la velocidad de los fluidos que fluyen se reduce dando como resultado un aumento de la presión. En la Figura 1, el canal de la tobera se muestra alcanzando el diámetro d_3 aguas arriba de la salida 14. Se debe entender que, en otros aspectos, el canal aguas abajo del cuello de tobera 16 puede tener un diámetro que aumenta continuamente, con el área de sección transversal del mismo aumentando hasta la salida 14. Como se muestra en la Figura 1, el canal de la tobera 10, que consiste de la sección convergente 18 y una sección divergente 20, puede parecer generalmente similar en estructura a una tobera Venturi (tal como la enseñada en el documento US 9,638,000). Como se conoce en la técnica, una tobera Venturi comprende un cuello de tobera que da como resultado una sección convergente y una sección divergente para el flujo de fluido. Las secciones convergentes y divergentes así como también el cuello de tobera de una tobera Venturi comprenden superficies suavemente curvadas, de manera que las secciones convergentes y divergentes comprenden superficies cónicas suaves. Tales toberas Venturi, que específicamente no tienen defectos en la superficie, se usan para generar las características de flujo deseadas empleando el efecto Venturi, es decir, un aumento gradual de la velocidad y una reducción concomitante de la presión del fluido que fluye a través del cuello de tobera seguido de una disminución gradual de la velocidad y aumento de presión, es decir, recuperación de presión, en la sección divergente que sigue al cuello de tobera. Por lo tanto, con las toberas Venturi, la recuperación de presión del fluido, resultante de la expansión del fluido, se produce en toda la sección divergente.

Por el contrario, con una tobera Venturi, la tobera 10 de la Figura 1 incluye una esquina, cúspide o borde de transición afilado 22 (denominada en la presente descripción una “esquina”) que define una transición relativamente rápida desde el cuello de tobera 16 hasta la sección 20 divergente. En un aspecto, la esquina 22 es definida por una superficie que matemáticamente no es diferenciable. Con la tobera 10, la expansión del fluido que fluye se produce rápidamente en la ubicación o punto específico de la esquina 22. Sin estar ligado a ninguna teoría en particular, se cree que el fluido que fluye experimenta una expansión de Prandtl-Meyer en la esquina 22, opuesto a la expansión gradual que resulta típicamente dentro de una tobera Venturi. Tal expansión de Prandtl-Meyer, o la creación de un “abanico” de expansión de Prandtl-Meyer, ocurre particularmente cuando el fluido que fluye a través del cuello de tobera 16 está en o alrededor de velocidades sónicas (es decir, un número de Mach igual o mayor que 1).

Por lo tanto, con la estructura de la tobera 10 en cuestión, en particular con la presencia de la esquina 22, un fluido caliente (tal como vapor o gas caliente) que fluye a través del canal de

la tobera 10 se somete a una disminución de la presión en el cuello de tobera 16 y se evapora (es decir, la presión dentro del cuello de tobera se reduce por debajo de la presión de vapor del fluido). Luego, el fluido que fluye se somete a mezcla en la esquina 22. En ausencia de vapor o cuando la concentración del vapor está por debajo de un cierto valor, la presión de vapor del fluido está por debajo de la presión en el cuello de tobera 16 y, por lo tanto, se mantiene el régimen de flujo del fluido. Por lo tanto, la presente tobera 10 proporciona una mejora en el estrangulamiento por vapor en comparación con las toberas Venturi que se conocen.

Más específicamente, y sin estar ligado a ninguna teoría en particular, el fluido que fluye desde un yacimiento a la tubería de producción puede comprender uno o más de: un “fluido frío”, que comprende una sola fase de vapor/agua e hidrocarburos; un “fluido caliente”, que comprende más de una fase, en particular una fase de vapor y una fase de hidrocarburo líquido; y vapor, en particular vapor húmedo, que también puede contener un componente de hidrocarburo pero constituiría todavía una sola fase. La tobera descrita en la presente descripción se diseñó principalmente para convertir un “fluido caliente”, o fluido de múltiples fases, en una sola fase.

Cuando se hace fluir vapor húmedo o una mezcla de fluido caliente y vapor a través de la tobera actualmente descrita, la sección convergente provocará la aceleración del flujo de fluido, es decir, un aumento en la velocidad del fluido. Este aumento de velocidad está asociado con una disminución correspondiente en la presión del fluido. La disminución de la presión generada generalmente dará como resultado la separación del vapor de la mezcla de fluidos, dando como resultado una fase de vapor más discreta. Idealmente, antes de que el fluido llegue a la esquina 22, el vapor se separará completamente y alcanzará un estado de equilibrio con el contenido de agua del fluido que fluye. Una vez extraído del resto del fluido y se separa en una fase, se debe entender que el vapor tendrá una mayor velocidad a medida que viaja a través de la tobera. Se cree que este aumento de velocidad sirve como portador de la fase líquida del fluido. Como se entenderá, el aumento de velocidad que se logra mediante la tobera que se describe en la presente descripción sirve para aumentar de manera adicional la disminución de la presión del fluido, en donde, de acuerdo con el principio de Bernoulli, tal disminución de la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo. En otras palabras, un aumento en la velocidad del fluido da como resultado un aumento exponencial en la disminución de la presión. Por lo tanto, en un aspecto, la tobera que se describe en la presente descripción logra una mayor disminución de la presión al aumentar la velocidad del fluido de una manera única.

La región de expansión 24 de la tobera, que sigue a la esquina 22, funciona como una cámara de recuperación de presión, donde la presión total del fluido que fluye aumenta o se “recupera”. En la región de expansión 24, las fases vapor/agua (en equilibrio) e hidrocarburo del fluido se combinan en una sola fase. Preferentemente, en la región de expansión 24, la presión del fluido aumenta hasta la presión de salida prescrita para evitar la formación de ondas de choque dentro de la tobera. En comparación con la sección de expansión gradual

larga en una tobera Venturi conocida, la esquina afilada 22 de la tobera descrita actualmente proporciona la expansión inmediata e inicial para la recuperación de presión. Por lo tanto, mediante el uso de una tobera como se describe en la presente descripción con la esquina 22, puede mantenerse un flujo de alta calidad (es decir, rico en hidrocarburos) con una tobera relativamente más corta.

Las Figuras 6a y 6b ilustran las características de flujo mencionadas anteriormente entre una tobera Venturi 600 típica y una tobera 10 como se muestra en la Figura 1 que tiene la esquina 22. Las características de flujo se ilustran en las Figuras 6a y 6b por medio de las líneas de contorno de reflexión de ondas 602 y 604, respectivamente.

La Figura 2 ilustra otro aspecto de la tobera descrita actualmente, donde los elementos similares se identifican con el mismo numeral de referencia que el anterior, pero con el prefijo “1”. Como se muestra, la tobera 110 comprende un cuerpo que tiene una entrada 112, una salida 114 y se proporciona un canal entre ellos. El canal incluye una sección convergente 118 y una sección divergente 120 separadas por un cuello de tobera 116. Al igual que con el aspecto de la tobera descrito anteriormente, la tobera 110 de la Figura 2 incluye un cuello de tobera 116 que tiene una esquina 122 afilada. Los diámetros respectivos de la entrada 112, el cuello de tobera 116 y la salida 114 se muestran como antes mediante d_1 , d_2 y d_3 . La tobera 110 incluye además una región, definida por la pared 113, adyacente a la entrada 112. La pared 113 puede definir una región de área de sección transversal constante o una región con un diámetro reductor a lo largo de la dirección 11 del flujo.

Como se ilustra, la tobera 110 de la Figura 2 incluye un cuello de tobera 116 definido por secciones cónicas cuando se ve en sección transversal. La pared que define la sección convergente 118 se proporciona en un ángulo θ_1 mientras que la pared que define la sección cónica divergente 120 tiene un ángulo θ_2 , donde tanto θ_1 como θ_2 se miden con respecto al eje longitudinal de la tobera 110 o, en otras palabras, la dirección de flujo 11. Como se ilustra, tanto θ_1 como θ_2 son ángulos agudos, de manera que dan como resultado la esquina 122.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente un sistema o aparato de control de flujo de fluido que comprende un tubo que se proporciona con al menos una tobera como se describe en la presente descripción (tanto por encima como por debajo). Como se muestra, un tubo 300 comprende un cuerpo tubular alargado que tiene varios puertos 302 a lo largo de su longitud. Los puertos 302 permiten la comunicación de fluidos entre el exterior del tubo y su interior, o lumen. Como es común, los tubos usados para la producción (es decir, las tuberías de producción) incluyen típicamente una rejilla 304, tal como una rejilla de envoltura de alambre o similar, para filtrar los fluidos que entran en la tubería. La rejilla 304 sirve para evitar que la arena u otros restos de partículas del hoyo entren en la tubería. La rejilla 304 se proporciona sobre la superficie de la tubería 300 y se retiene en su lugar mediante un collar 306 o cualquier otro dispositivo o mecanismo de retención.

Se debe entender que el sistema de la presente descripción no requiere necesariamente la presencia de una rejilla, aunque tales rejillas se usan comúnmente. La presente descripción

tampoco se limita a ningún tipo de rejilla 304 o dispositivo o mecanismo de retención de rejilla 306.

La presente descripción tampoco se limita a ningún número de puertos 302. Además, se apreciará que aunque se muestra la presencia de una rejilla 304, el uso de la tobera descrita actualmente no se basa en la presencia de tal rejilla. Por lo tanto, la tobera descrita actualmente puede usarse en un tubo 300 incluso en ausencia de cualquier rejilla 304. Como se entenderá, en los casos en los que no se usa una rejilla, todavía puede usarse un dispositivo de retención, tal como una abrazadera 306 o similar, para asegurar la tobera 210 a el tubo 300. Alternativamente, la tobera 210 puede fijarse al tubo de cualquier otra manera que conozcan los expertos en la técnica.

Como se muestra en la Figura 3, una tobera de acuerdo con la presente descripción se muestra generalmente en 210. Se debe entender que la ilustración de la tobera 210 es esquemática y no pretende limitar la estructura de la tobera a ninguna forma o estructura particular. Por lo tanto, la tobera 210 de la Figura 3 puede consistir en una de las toberas descritas anteriormente, como se muestra en las Figuras 1 y 2, o cualquier otra configuración de tobera de acuerdo con la presente descripción.

Como se muestra en la Figura 3, la tobera 210 se coloca en la superficie exterior de la tubería 300 y se ubica cerca del puerto 302. En particular, la salida 214 de la tobera se coloca de manera que los fluidos que salen de la tobera 210 entren en el puerto 302. Además, colocando la tobera 210 aguas abajo de la rejilla 304, los fluidos se filtran de residuos, etc., antes de entrar en la tobera 210. Como se muestra esquemáticamente en la Figura 3, y como se muestra en otras figuras de la presente solicitud, el canal a través de la tobera está generalmente alineado y, a menudo, paralelo al eje longitudinal del tubo 300. Por esta razón, se debe entender que se proporcionará algún tipo de medio de desviación entre la salida 214 de la tobera y el puerto 302 para desviar el fluido desde la salida 214 al puerto 302. En el documento WO 2019/090425 se proporciona un ejemplo de tal desviador.

En uso, el tubo 300 se proporciona con la tobera 210 y, cuando sea necesario, la rejilla 304. Luego, el tubo 300 se inserta en un hoyo para comenzar el procedimiento de producción. Durante la producción, los fluidos del hoyo, como se muestra en 308, pasan a través de la rejilla 304 (si está presente) y se desvían a la tobera 210. Como se discutió anteriormente, la tobera 210 tiene un pasaje con secciones convergentes y divergentes. Cuando los fluidos del hoyo comprenden principalmente los hidrocarburos deseados, tal como petróleo y petróleo pesado, etc., el flujo a través de la tobera 210 es ininterrumpido y tales fluidos entran en el puerto 302 y en el tubo o tubería de producción 300. Sin embargo, cuando los fluidos 308 comprenden vapor (como ocurriría en la penetración de vapor en una operación SAGD), la tobera funciona como se describe anteriormente y estrangula efectivamente el flujo de tal fluido de baja densidad. Otros puertos a lo largo del tubo continuarían produciendo los hidrocarburos deseados. En consecuencia, a lo largo de su longitud, el tubo, o tubería de producción, produciría preferentemente hidrocarburos mientras que estrangula de vapor en aquellas regiones donde se produjo la penetración de vapor.

Como se entenderá, aunque la presente descripción se dirige principalmente a estrangular el flujo de entrada de vapor, las toberas descritas actualmente también pueden usarse para estrangular el flujo de otros fluidos “no deseados”, tal como agua y gas, que se encuentran en combinación con los hidrocarburos deseados, u otros fluidos de baja densidad que se inyectan en la formación, tal como modificadores de viscosidad, disolventes, etc.

Un aspecto adicional de la presente descripción se muestra en la Figura 4, donde los elementos que son similares a los de la Figura 1 se identifican con el mismo numeral de referencia que el anterior, pero con el prefijo “4” por conveniencia. En la Figura 4, el cuello de tobera 416 es más largo que el cuello de tobera 16 que se muestra en la Figura 1. Tal cuello de tobera alargado forma una región de conducto 26, que tiene un área de sección transversal generalmente constante que conecta fluidamente la sección convergente 418 y la sección divergente 420. También se proporciona preferentemente un borde 422 en el punto de transición entre el cuello de tobera 416 y la región de expansión 424, por las razones indicadas anteriormente. Como se muestra, y de acuerdo con un aspecto, la región de conducto 26 puede tener un diámetro constante, correspondiente al diámetro d2 como se definió anteriormente. Con la tobera de la Figura 4, la sección convergente 418 tiene una forma curva suave, como se discutió anteriormente, y formada por la abertura 413, que ayuda a la entrada tanto de líquido monofásico como del vapor húmedo no deseado. Al igual que con la tobera 10 de la Figura 1, la sección convergente de pared lisa 418 de la tobera 410 promueve el flujo del líquido monofásico a través de esta debido a la mayor viscosidad de tal fluido. La región del conducto 26 aguas abajo de la sección convergente 418, que tiene un área de sección transversal constante, funciona para estimular de manera adicional que el componente de vapor se separe del fluido y alcance un estado de equilibrio. Por lo tanto, la región del conducto 26 sirve para acelerar de manera adicional el fluido que pasa a través de este y aumentar de manera adicional la disminución de la presión que se mencionó anteriormente. En un aspecto, la tobera 410 que tiene una región de conducto 26 sería preferible en situaciones en las que se desea generar una disminución de la presión más alta en presencia de vapor húmedo/agua. Aguas abajo de la región del conducto 26, la velocidad del flujo es proporcional al régimen de flujo. Por lo tanto, cuando el vapor se separa completamente del fluido, el régimen de flujo aumentará y la disminución de la presión (es decir, la diferencia de presión) aumentará en consecuencia.

En un ejemplo, la tobera 410 que se ilustra en la Figura 4, así como también la tobera 10 que se ilustra en la Figura 1, pueden tener las siguientes dimensiones:

d1	10 mm
d2	4 mm
d3	7 mm
L1	20 mm
L2	15 mm
L3	100 mm

Se debe entender que las dimensiones de la tobera descritas en la presente descripción variarán en función del uso previsto. Por ejemplo, el diámetro del cuello de tobera d2 estaría determinado generalmente por la presión del yacimiento y la velocidad de producción deseada. Generalmente, la longitud de la tobera se fijaría ya que estaría limitada por el equipo que se utiliza para la fase de producción.

Un aspecto adicional de la presente descripción se muestra en la Figura 5, donde los elementos que son similares a los de la Figura 1 se identifican con el mismo numeral de referencia que el anterior, pero con el prefijo “5” por conveniencia. Como se muestra, la tobera 510 que se muestra en la Figura 5 es similar en estructura a la tobera 410 de la Figura 4; sin embargo, la región del conducto de esta tobera, identificada como 28, no tiene un área de sección transversal constante. En cambio, la región de conducto 28 de la tobera 510 incluye un perfil convergente y divergente en sección transversal que está formado por una región estrecha 30 que tiene un diámetro d4 en el punto más estrecho. Como se muestra, el diámetro d4 es menor que el diámetro d2. Por lo tanto, la tobera de la Figura 5 incluye dos zonas de constricción en serie. Esta geometría de la región 28 del conducto serviría para acelerar de manera adicional el fluido que fluye a través de este y, de esta manera, mejorar los efectos que se discutieron anteriormente. Aunque se muestra que los extremos opuestos de la región 28 del conducto tienen el mismo diámetro, d2, esto es sólo a manera de ejemplo y se debe entender que los extremos opuestos también pueden tener diámetros diferentes. En cualquier caso, el diámetro d4 aún sería menor que los diámetros de los extremos opuestos. En un ejemplo, la tobera 510 que se ilustra en la Figura 5 puede tener las mismas dimensiones que las proporcionadas en la tabla anterior con respecto a la tobera de la Figura 4. Aunque no se menciona en la tabla, se entenderá que el diámetro d4 de la región 28 del conducto tiene una dimensión menor que el diámetro d2.

La Figura 7, así como también la Figura 7a asociada, ilustra un aspecto adicional de la descripción, en donde elementos similares a los que ya se introdujeron se identifican con el prefijo “7”. La tobera 710 que se ilustra en la Figura 7 es similar a la que se ilustra en la Figura 4 y de manera similar comprende un cuerpo generalmente cilíndrico que tiene una entrada 712 y una salida 714, y un canal que se extiende a través de las mismas. Como se muestra, la entrada 712 de la tobera 710 está formada con una abertura 713 que tiene un diámetro convergente que se proporciona en un primer radio de curvatura de θ_3 . Se proporciona un cuello de tobera 716 aguas abajo de la abertura 713 (es decir, en la dirección del flujo 11). El cuello de tobera incluye un radio de curvatura θ_4 que es menor que θ_3 . En otras palabras, como se muestra en la Figura 7, el cuello de tobera 716 es más largo que el cuello de tobera 416 que se muestra en la Figura 4 y tiene un cambio en el área de sección transversal que es menor que la de la abertura 713.

El cuello de tobera 716 incluye además una región de conducto que se muestra con 726 que es similar a la región de conducto 26 que se muestra en la Figura 4 y tiene la misma funcionalidad como se describió anteriormente. La tobera 710 incluye además un punto de

transición 722 entre la región de conducto 726 del cuello de tobera 716 y una sección divergente 720, que forma la región de expansión 724. La región de expansión 724 termina en la salida 714. Como se observará, las dimensiones de la tobera 710 son alargadas en comparación con las de la Figura 4.

En un ejemplo, la tobera de la Figura 7 puede tener una longitud total de 5,512 pulgadas con una entrada 712 de 0,55 pulgadas de diámetro y una salida 714 de 0,453 pulgadas de diámetro. La longitud de la abertura 713 puede ser de 0,395 pulgadas con una curvatura θ_3 que comienza con el diámetro de la entrada 712 (es decir, 0,55 pulgadas) y termina con un diámetro delante del cuello de tobera 716 de 0,195 pulgadas. La longitud de la entrada de estrechamiento del cuello de tobera 716 puede ser de 0,393 pulgadas y puede tener un grado de curvatura θ_4 de 2,76 grados, de manera que el diámetro de esta región se reduce de 0,195 pulgadas a 0,157 pulgadas en la región del conducto 726. La longitud de la región del conducto 726 puede ser de 0,788 pulgadas y tiene un diámetro constante de 0,157 pulgadas. La longitud de la región de expansión 724 (que se extiende desde el punto de transición 722 hasta la salida 714) puede ser de 3,936 pulgadas.

El ejemplo anterior de la tobera de la Figura 7 se ilustra además en las Figuras 8a, 8b y 8c. Otro ejemplo de la misma tobera, pero con diferentes dimensiones, se ilustra en la Figura 9a, 9b y 9c. Se debe entender que las dimensiones que se mencionaron anteriormente, y las que se muestran en la figura mencionada anteriormente, se refieren a ejemplos específicos y no pretenden limitar el alcance de la presente descripción. También se entenderá que las dimensiones varían de según las tolerancias de fabricación aceptables.

La Figura 10 ilustra otro aspecto de una tobera de acuerdo con la presente descripción, que es similar a la tobera que se muestra en la Figura 5. Como se muestra en la Figura 10, la tobera 810 comprende, como antes, un cuerpo generalmente cilíndrico que tiene una entrada 812 y una salida 814 y un canal que se extiende a través de estas, en donde, generalmente, el canal incluye dos regiones de constricción antes de una región de expansión. El fluido fluye a través de la tobera 810 en la dirección que muestra la flecha 11. Al igual que con las toberas descritas anteriormente, la entrada 812 recibe fluido de un yacimiento (no se muestra). Después de pasar a través de la tobera 810, el fluido sale por la salida 814. El canal que se extiende entre la entrada 812 y la salida 814 comprende una primera y una segunda regiones convergentes, 815 y 817, respectivamente, próximas a la entrada 812, y una región divergente 824 cerca de la salida 814. La segunda región convergente 817 está formada por un cuello de tobera 816. Como se entenderá, la segunda región convergente 817 es similar a la “región de conducto” como se definió anteriormente con respecto al aspecto que se ilustra en la Figura 5.

Como se muestra en la Figura 10, la primera región convergente 815 está formada por una pared 813 que tiene un diámetro que se estrecha o disminuye gradualmente que va desde d_1 en la entrada 812 hasta un diámetro reducido d_2 en un punto 821 donde comienza el cuello de tobera 816.

El cuello de tobera 816 forma la segunda región convergente 817 y comprende una región estrecha o constricción en el canal de la tobera 810. Más particularmente, como se muestra en la Figura 10, el cuello de tobera 816, ubicado aguas abajo (es decir, en la dirección de la flecha 11) de la entrada y aguas abajo de la primera región convergente 815, se proporciona con un diámetro de cuello de tobera d_4 , que es menor en dimensión que d_2 . Como se indicó anteriormente, la segunda región convergente 817 comienza en un punto de transición 821 y, como se muestra en la Figura 10, se reduce en diámetro de d_2 a d_4 de una manera relativamente pronunciada en comparación con la reducción gradual del diámetro de la primera región convergente 815. El diámetro más estrecho de la segunda región convergente 817 y del canal de la tobera 810 tiene el diámetro d_4 mencionado anteriormente. Más abajo (en la dirección de la flecha 11), el diámetro de la segunda región convergente 817 aumenta y puede volver generalmente al diámetro d_2 en un punto o esquina 822 del canal. Se debe entender que el diámetro d_2 en la esquina 822 también puede ser mayor o menor que d_2 en algunos aspectos de la descripción. Esto se ilustra, por ejemplo, en la Figura 11 (que se discute más adelante), donde los ángulos de las esquinas 821 y 822, tomados con respecto al eje longitudinal de la tobera 810, e identificados como θ_1 y θ_2 , respectivamente, son diferentes. La salida 814 se proporciona con un diámetro de salida d_3 que es mayor que d_2 o d_4 y, en un aspecto, mayor que d_1 .

La porción del pasaje que se extiende desde el extremo de la segunda región convergente 817, que es la esquina 822, hasta la salida 814 (es decir, en la dirección 11) forma la región divergente 824 del canal de la tobera 810 y se proporciona con un diámetro creciente que van desde d_2 hasta al menos el diámetro d_3 de la salida 814. En un aspecto, como se ilustra en la Figura 10, la región divergente 824 está formada por una pared 820 que aumenta gradualmente de diámetro en una dirección desde la esquina 822 hasta la salida 814 (es decir, en la dirección de la flecha 11). Como se discutió anteriormente, la región divergente 824 también puede denominarse región de recuperación de presión.

En la Figura 10, la región divergente 824 de la tobera 810 se muestra con un diámetro que aumenta gradualmente desde el cuello de tobera 816 hasta la salida 814. Sin embargo, en otros aspectos, el diámetro d_3 puede alcanzarse aguas arriba de la salida 814, en cuyo caso una porción del extremo del canal (es decir, la porción cerca de la salida 814) puede tener un diámetro constante d_3 que se extiende hasta la salida 814.

Como se muestra en la Figura 10, la tobera 810 incluye un cuello de tobera estrecho 816 entre la región convergente 815 y la región divergente 824. Los inventores descubrieron que la región estrecha adicional 817 formada por el cuello de tobera 816 da como resultado las características de flujo de fluido deseadas. Con la estructura de la tobera 810 en cuestión, un fluido caliente (tal como vapor o gas caliente) que fluye a través del canal de la tobera 810 se somete a una disminución de la de presión en el cuello de tobera 816 y se evapora (es decir, la presión dentro del cuello de tobera es reducida por debajo de la presión de vapor del fluido). El fluido que fluye se somete a mezcla cuando entra en la región de expansión 24. En ausencia de vapor o cuando la concentración de vapor está por debajo de un cierto valor,

la presión de vapor del fluido estaría por debajo de la presión ejercida por el flujo a través del cuello de tobera 16 y, por lo tanto, se mantendría el régimen de flujo. Por lo tanto, la tobera 810 proporciona una mejora en el estrangulamiento por vapor en comparación con las toberas Venturi que se conocen.

Más específicamente, y sin estar ligado a ninguna teoría en particular, el fluido que fluye desde un yacimiento a la tubería de producción puede comprender uno o más de: un “fluido frío”, que comprende una sola fase de vapor/agua e hidrocarburos; un “fluido caliente”, que comprende más de una fase, en particular una fase de vapor y una fase de hidrocarburo líquido; y vapor, o, más particularmente, vapor húmedo, que también puede contener un componente de hidrocarburo pero aún constituiría una sola fase. La tobera descrita en la presente descripción está diseñada principalmente para convertir un fluido caliente en una sola fase.

Cuando se hace fluir vapor húmedo o una mezcla de fluido caliente y vapor a través de la tobera actualmente descrita, las regiones convergentes 815 y 817 provocarán la aceleración del flujo de fluido y, por lo tanto, un aumento en la velocidad del fluido. Este aumento de velocidad está asociado con una disminución correspondiente en la presión del fluido. La disminución de presión generada generalmente dará como resultado que el vapor se separe de la mezcla de fluidos, dando de esta manera como resultado una fase de vapor más discreta. Idealmente, antes de que el fluido alcance la región de expansión 824, el vapor se separará completamente y alcanzará un estado de equilibrio con el contenido de agua. Una vez extraído del resto del fluido y se separa en una fase, se debe entender que el vapor tendrá una mayor velocidad a medida que viaja a través de la tobera. Se cree que este aumento de velocidad sirve como portador de la fase líquida del fluido. Como se entenderá, el aumento de velocidad que se logra mediante la tobera que se describe en la presente descripción sirve para aumentar de manera adicional la disminución de la presión del fluido, en donde, de acuerdo con el principio de Bernoulli, tal disminución de la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo. En otras palabras, un aumento en la velocidad del fluido da como resultado un aumento exponencial en la disminución de la presión. Por lo tanto, en un aspecto, la tobera que se describe en la presente descripción logra una mayor disminución de la presión al aumentar la velocidad del fluido de una manera única.

La región de expansión 824 de la tobera, que sigue al cuello de tobera 816, funciona como una cámara de recuperación de presión, donde la presión total del fluido que fluye aumenta o “recupera”. En la región de expansión 824, las fases vapor/agua (en equilibrio) e hidrocarburo del fluido se combinan en una sola fase. Preferentemente, en la región de expansión 824, la presión del fluido aumenta hasta la presión de salida prescrita para evitar la formación de ondas de choque dentro de la tobera.

Con la tobera descrita en la presente descripción, las regiones convergentes 815 y 817 tienen formas suaves y curvas, lo que ayuda a la entrada tanto de líquido monofásico como del vapor húmedo no deseado. La primera región convergente 815 de la tobera 810, que tiene preferentemente una pared lisa, promueve el flujo del líquido monofásico a través de esta

debido a la mayor viscosidad de tal fluido. El cuello de tobera 816, aguas abajo de la primera sección convergente 815, funciona para estimular de manera adicional que el componente de vapor se separe del fluido y alcance un estado de equilibrio. Como se mencionó anteriormente, el cuello de tobera 816 también puede comprender una superficie de pared lisa. Por lo tanto, el cuello de tobera 816 sirve para acelerar de manera adicional el fluido que pasa a través de este y aumentar de manera adicional la disminución de la presión mencionada anteriormente. Aguas abajo del cuello de tobera 816, la velocidad del flujo es proporcional al régimen de flujo. Por lo tanto, cuando el vapor está completamente separado del fluido, el régimen de flujo aumentará y la disminución de la presión (es decir, la diferencia de presión) aumentará en consecuencia.

La Figura 11 ilustra un detalle de una porción de la tobera que se muestra en la Figura 10, en donde se muestran dimensiones ilustrativas de las diversas secciones de la tobera 810. Una porción de la pared del canal de la tobera 810 se ilustra en la Figura 11 en contorno, en donde se identificaron la pared 813 de la primera región convergente 815, el cuello de tobera 816 de la segunda región convergente 817 y la pared 820 de la región divergente 824. Como se entenderá, todas las dimensiones, incluyendo las longitudes, radios y ángulos, que se muestran en la Figura 11, pretenden ser ilustrativas de un ejemplo de la tobera 810 descrita en la presente descripción. Las dimensiones u otros detalles que se muestran en la Figura 11 no pretenden limitar el alcance de la presente descripción de ninguna manera.

La tobera 810 puede utilizarse de la misma manera que se discutió anteriormente, tal como en referencia a la Figura 3. Como también se discutió anteriormente, la tobera 810, así como con las otras toberas descritas en la presente descripción, puede combinarse con un medio de desvío adecuado para permitir que los fluidos que salen de la tobera se dirijan al puerto de la tubería en el que se proporciona la tobera.

La Figura 12 ilustra el cambio de presión de un fluido que fluye a través de la tobera 810 descrita en la presente descripción y que se ilustra en particular en la Figura 11. En la Figura 12, el eje x corresponde a la posición a lo largo de la longitud de la tobera 810 y el eje y corresponde a la presión en cada posición. La curva de la Figura 12 muestra cómo se genera la disminución de la presión a través de la tobera 810, comenzando en la primera región convergente 815 (como se ilustra en 830 en la Figura 12) y en particular en el cuello de tobera 816 (como se ilustra en 832), y cómo la presión se recupera en la región divergente 824 (como se ilustra en 834).

La Figura 13 ilustra una curva de régimen de flujo normalizado para el fluido que fluye a través de la tobera 810 que se ilustra en la Figura 11. El eje x de la Figura 13 es el índice de subenfriamiento, que es la temperatura de subenfriamiento normalizada, y el eje y es el régimen de flujo normalizado, que es el régimen de flujo de fluido a través de la tobera 810 bajo agua fría frente al régimen de flujo velocidad en condiciones de evaporación. Como se entenderá, con un índice de subenfriamiento más alto, la tobera sería más restrictiva en condiciones de descarga de agua, de esta manera dando como resultado un mejor rendimiento de la tobera. Como se ilustra en la Figura 13, la tobera 810 descrita en la presente descripción

logró aproximadamente un 63 % de estrangulamiento por vapor (como se ilustra en 836), en comparación con el 0 % de un puerto normal (es decir, donde se usa la tobera).

Como se entenderá, aunque la presente descripción está dirigida principalmente al estrangulamiento del flujo de entrada de vapor, las toberas descritas actualmente también pueden usarse para estrangular el flujo de otros fluidos “no deseados”, tal como agua y gas u otros fluidos que se inyectan en la formación tal como modificadores de viscosidad, disolventes, etc.

En la presente descripción, se describió que el canal de fluido de las toberas tiene una pared lisa. Sin embargo, en determinados casos, la pared puede tener un acabado rugoso o escalonado.

Aunque la descripción anterior incluye referencia a determinadas 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, cualquier dimensión o cantidad específica a las que se hace referencia en la presente descripción está destinada únicamente a ilustrar uno o más aspectos específicos, no está destinada 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 limitativos 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 especificación en su conjunto. Las descripciones de toda la técnica anterior enumeradas en la presente descripción se incorporan en la presente descripción como referencia en su totalidad.