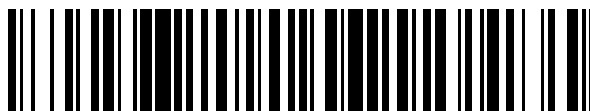


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 496**

51 Int. Cl.:

G06F 17/50

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.11.2013 PCT/EP2013/074381**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.06.2014 WO2014082916**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2013 E 13802902 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2926278**

54 Título: **Método para la simulación del flujo de fluido de múltiples fases en tuberías**

30 Prioridad:

27.11.2012 NO 20121424

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

19.06.2017

73 Titular/es:

**LEDAFLOW TECHNOLOGIES DA (100.0%)
Postbooks 4764 Sluppen
7465 Trondheim, NO**

72 Inventor/es:

JOHANSEN, STEIN, TORE

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 617 496 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para la simulación del flujo de fluido de múltiples fases en tuberías

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere a un método para la simulación del flujo de fluido de múltiples fases en tuberías que permite la determinación de la caída de presión, las fracciones de volumen del fluido, y los coeficientes de transferencia de calor y masa en flujos de múltiples fases por tuberías. La invención puede, basada en una suposición de estado casi estacionario (una instantánea de un flujo de múltiples fases transitorio), predecir los perfiles de velocidad, las fracciones de volumen, el tamaño de las partículas o burbujas, y las tensiones de corte de la pared, para todos los campos en la sección transversal de la tubería. El flujo puede componerse de cualquier número de campos y fases continuas y dispersas.

15 Antecedentes

El flujo de múltiples fases ocurre cuando más o menos fases separadas de gases, líquidos y/o partículas sólidas fluyen simultáneamente como una mezcla. El flujo de múltiples fases puede involucrar interacciones irregulares complejas entre las fases que fluyen induciendo caídas de presión, depósitos, acumulación de líquido y flujos inestables. Estos fenómenos pueden ocurrir en un amplio intervalo de aplicaciones que varían desde procesos industriales a gran escala tales como, es decir, industria farmacéutica, industria papelera, industria de la alimentación, industria metalúrgica, hasta aplicaciones a pequeña escala tales como, es decir, sistemas de enfriamiento, motores de combustión, etc.

Un área particular donde es de vital importancia la comprensión y manejo del flujo de múltiples fases es la 25 transportación de hidrocarburos en tuberías desde los lugares de producción hasta las plantas de procesamiento. El flujo de fluidos en tuberías desde campos de petróleo y gas típicamente involucra el flujo simultáneo de agua, petróleo, y gas, y puede contener además sólidos arrastrados. Los patrones de flujo pueden tomar muchos regímenes diferentes, tales como el flujo pistón, el flujo burbujeante, el flujo estratificado, el flujo anular, y/o el flujo agitado.

El presente desarrollo de la extracción de petróleo y gas es hacia áreas más técnicamente desafiantes tal como el 30 y aguas profundas y además en los campos marginales en ambientes duros. Por lo tanto se ha vuelto más importante entender y predecir posibles comportamientos de múltiples fases y efectos relacionados con fluidos complejos los cuales pueden ocurrir en las tuberías durante el diseño y operación de las líneas de transportación de petróleo y gas. El objetivo básico para los operadores es la producción optimizada bajo condiciones de seguridad optimizadas, resultando en una necesidad para controlar las velocidades del flujo, las variaciones de presión y las temperaturas del fluido en las tuberías.

El comportamiento irregular y complejo del flujo de múltiples fases hace necesario usar simulaciones numéricas, frecuentemente asistidas por parámetros de flujo extensos determinados experimentalmente, para predecir y/o para 40 obtener una comprensión del comportamiento de múltiples fases y los efectos relacionados con fluidos complejos que pueden esperarse que ocurran en una tubería específica.

Técnica anterior

Los modelos numéricos para la simulación de flujos de fluidos típicamente emplean un marco Euleriano para resolver las fases continuas de los flujos de múltiples fases, y ellos pueden considerarse en total como dos clases de modelos; 45 modelos de flujo separado y modelos para flujo disperso.

Los modelos de flujo separado normalmente tratan las diferentes fases del fluido como completamente separadas por una interfase definida entre las fases del fluido. Entre tales modelos se conocen los modelos de superficie libre los cuales se mantienen al tanto de la interfase mediante el uso de un campo de referencia que se mueve con la interfase. Sin embargo, los modelos de superficie no pueden manejar los flujos donde la interfase se dobla, rompe o fusiona.

Otro enfoque es el método del volumen del fluido (VOF) donde cada fase del fluido se modela mediante la formulación de ecuaciones de conservación local para la masa, el momento y la energía y reemplazando las condiciones de salto en la interfase mediante la variación suave de las fuerzas volumétricas. Esto permite el seguimiento del movimiento complicado y doblar la interfase indirectamente mediante el seguimiento del movimiento de cada una de las fases del fluido y luego determinar la posición de la interfase como una función de tiempo de las fracciones de fluido volumétricas resultantes del movimiento de todas las fases del fluido. El enfoque VOF es por lo tanto capaz de manejar flujos donde la interfase se dobla, rompe o fusiona. Un ejemplo de tales modelos se describe en el documento US 7 379 852, el cual describe un método para dar seguimiento a un número N de materiales de fluido y sus interfases asociadas durante el flujo de fluido simulado mediante el uso de una metodología de celda de microrrejilla que se empotra en una macrorrejilla regular para subdividir y luego etiquetar materiales de fluido en un sistema computacional preferentemente mediante el uso de un algoritmo de números primos. El movimiento de las celdas de microrrejillas se sigue basado en las condiciones de velocidad locales, rectificando las anomalías pequeñas mediante una evaluación acoplada de los campos de fracción de volumen local y la conservación de masa global. Las fracciones de volumen pueden calcularse 65

en cualquier etapa de tiempo a través de una evaluación de las localizaciones primas de manera que la densidad celular promedio y los valores de viscosidad pueden actualizarse regularmente.

La carga de trabajo numérica mejora considerablemente para cada fase del fluido de la cual necesita seguirse y determinarse la interfase. Así, los modelos de flujo separado pueden manejar solamente un número relativamente pequeño de las fases del fluido. Por lo tanto, es necesario emplear otro enfoque para manejar el flujo disperso donde puede existir un número muy grande de una distribución relativamente pequeña y que varía localmente de fases del fluido arrastradas en una fase continua del fluido principal. Una lista de ejemplos no exhaustiva de los flujos dispersos incluye el flujo de burbujas donde una fase gaseosa se distribuye como burbujas en una fase líquida, el flujo de neblina donde gotitas pequeñas de una fase líquida se distribuyen en una fase gaseosa, emulsiones donde gotitas pequeñas de una fase líquida se distribuye en una fase líquida principal, lechadas donde partículas sólidas pequeñas se distribuyen en una fase líquida, y cualquier mezcla concebible de estas.

Con el fin de manejar un número grande de fases relativamente pequeñas distribuidas en una fase continua principal, los modelos para el flujo disperso abandonan el concepto del seguimiento de las interfases que separan las fases del fluido y en cambio tratan las diferentes fases del fluido como un continuo interpenetrante asociado con partículas, burbujas o gotitas discretas arrastradas. Así, en este enfoque, el carácter discreto del flujo de múltiples fases se promedia de manera que se ignoran los movimientos del fluido a pequeña escala alrededor de las partículas, burbujas, o gotitas individuales, o la trayectoria de estas partículas, burbujas, o gotitas individuales. Los archivos de concentración en estos modelos variarán típicamente de forma suave en el espacio. Los modelos de flujo disperso son incapaces de manejar los flujos influenciados significativamente por los efectos de las interfases que separan las fases del fluido.

Sin embargo, los flujos de múltiples fases en varias aplicaciones industriales involucran características a gran escala que coexisten con partículas/burbujas o gotitas dispersas. Estas situaciones de flujos de múltiples fases requieren la capacidad de simular las situaciones de flujo separado y las situaciones de flujo disperso.

El documento US 5 550 761 describe un método de modelado que diferencia estos dos tipos de patrones de flujo: patrones de flujo separado (estratificado o anular) y patrones de flujo disperso, y el cual trata patrones de flujo intermitente (flujo pistón, agitado) como una combinación de estos. Esto se obtiene caracterizando los regímenes de flujo por un parámetro β que representa la fracción de un flujo en un estado separado, el parámetro varía continuamente desde 0 para regímenes de flujo disperso hasta 1 para regímenes de flujo separado y luego se aplica un algoritmo de transición para determinar si el flujo debe tratarse como separado, intermitente o disperso.

Otro enfoque se presenta en Laux y otros (2005) [1]. Este documento describe un enfoque híbrido para un flujo de dos fases en tuberías, donde se emplea un enfoque de múltiples niveles para evitar limitarse por la técnica de simulación directa de resolver todas las interfases. El flujo de dos fases se divide en un conjunto de campos que normalmente son: una capa de líquido continua, una capa gaseosa continua, burbujas suspendidas en la capa de líquido continua, y gotitas suspendidas en la capa de gas continua. Un conjunto de volumen Euleriano y las ecuaciones de transporte turbulento promediadas en conjunto se derivan después para cada campo. Es decir, cada campo se trata como un continuo interpenetrante de acuerdo con el enfoque de flujo disperso excepto por las dos fases principales de fluido continuo (líquida y gaseosa). Estas dos fases se tratan como dos fases separadas claramente de acuerdo con el enfoque del volumen del fluido. La interfase que separa estas dos fases principales es además la interfase principal del flujo, y por lo tanto se denota frecuentemente en la literatura como la interfase a gran escala (LSI).

El enfoque de [1] es por lo tanto un enfoque híbrido que emplea simultáneamente el enfoque de flujo disperso para manejar gotitas, partículas y/o burbujas suspendidas, y el enfoque de flujo separado para mantener un seguimiento de la interfase que separa las fases principales de fluido continuo. De acuerdo con los modelos VOF convencionales, el enfoque híbrido de [1] emplea descripciones de modelos locales para representar fuerzas volumétricas que varían suavemente a través de la interfase a gran escala y determina indirectamente la posición de la interfase. Las fuerzas de corte a través de la interfase se aproximan es decir, mediante el uso de funciones de pared para paredes rugosas. La interfase a gran escala se hace responsable además por la entrega de gotitas y burbujas a las fases principales de fluido continuo respectivas.

En otra publicación, Laux y otros (2007) [2] brinda más detalles técnicos sobre el enfoque presentado en [1].

P.A.B. de Sampaio y otros [5] reporta una investigación numérica y experimental del flujo de dos fases gaseosa-líquida estratificado en tuberías circulares horizontales. Las ecuaciones de Navier-Stokes de promedio de Reynolds (RANS) con el modelo de turbulencia $k-\omega$ para un flujo de dos fases gaseosa-líquida estratificado completamente desarrollado se resuelven mediante el uso del método de elemento finito. Se asume una superficie de interfase suave sin considerar los efectos de las ondas de la interfase. La continuidad de la tensión de corte a través de la interfase se fuerza con la continuidad de la velocidad que se satisface automáticamente por la formulación variable. Para cada posición de la interfase y el gradiente de presión longitudinal dado, se ejecuta un lazo de iteración interno para resolver las ecuaciones no lineales. El esquema de Newton-Raphson se usa para resolver las ecuaciones trascendentales mediante una iteración externa para determinar la posición de la interfase y el gradiente de presión para un par de regímenes de flujo volumétrico dados. La comparación favorable de los resultados numéricos con los resultados experimentales

disponibles indica que el modelo $k-\omega$ puede aplicarse para la simulación numérica del flujo de dos fases gaseosa-líquida estratificado.

Las simulaciones de tres dimensiones transitorias de los flujos de múltiples fases en tuberías involucran enormes cantidades de tiempo de cálculo y resulta en mucha más información que la necesaria para comprender y predecir el flujo de múltiples fases desarrollado en segmentos de tubería rectos. En tales casos el flujo de múltiples fases puede aproximarse asumiendo que se desarrolla completamente, es decir, que no tiene gradientes axiales en velocidades y fracciones de volumen de las fases del fluido. Se conoce por lo tanto, para ahorrar tiempo de cálculo y esfuerzo, emplear modelos de punto de cero dimensión donde las ecuaciones de conservación que gobiernan el flujo se integran sobre la sección transversal completa de la tubería, asumiendo que se conoce la geometría del flujo (distribución de fase espacial). El modelo de punto de cero dimensión se basa además en el uso del promedio del conjunto de las ecuaciones del modelo de 1D. El resultado es un modelo de estado estacionario que brinda la caída de presión y las fracciones líquidas para las propiedades del fluido, las condiciones del flujo y la geometría de la tubería dadas. Ejemplos de modelos de punto de cero dimensión son LedaFlow® PointModel, proporcionado por Kongsberg, o OLGAS®, proporcionado por SPT-group.

Objetivo de la invención

El objetivo principal de la invención es proporcionar un método robusto para la simulación de una dimensión del flujo de fluido de múltiples fases en tuberías que permite la determinación de la caída de presión, las fracciones de volumen del fluido, y los coeficientes de transferencia de calor y masa en flujos por tuberías en múltiples fases.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un método robusto para la simulación de una dimensión del flujo de fluido de múltiples fases en tuberías el cual puede usarse para acoplar directamente modelos transitorios de una dimensión y modelos de tres o casi tres dimensiones, permitiendo la simulación transitoria del flujo por tuberías con geometrías más complejas.

Un objetivo adicional es proporcionar un método robusto para la simulación de una dimensión del flujo de fluido de múltiples fases en tuberías el cual, basado en una suposición casi estacionaria, permite predecir los perfiles de velocidad, las fracciones de volumen, el tamaño de las partículas o burbujas, y/o las tensiones de corte de la pared, para todos los campos en la sección transversal de la tubería para flujos compuestos de cualquier número de campos y fases continuas y dispersas.

Descripción de la invención

La presente invención se basa en la realización de que un método simple y rentable para determinar flujos de múltiples fases en tuberías, y el cual proporciona más información de los parámetros del flujo que los modelos de 0D o 1D convencionales, puede obtenerse asumiendo 1) que el flujo se desarrolla completamente y 2) que se conocen la geometría del flujo y el gradiente de presión axial del flujo de múltiples fases y luego empleando estas suposiciones como entrada en una ecuación de transporte formulada Euleriana basada en modelo sobre una sección transversal vertical de la tubería para determinar los parámetros del flujo característicos del flujo de múltiples fases.

Así en un primer aspecto, la presente invención se refiere a un método para la determinación de los parámetros de flujo de un flujo de múltiples fases en una tubería, donde el flujo de múltiples fases comprende una pluralidad de fases de fluido continuas estratificadas separadas por interfases a gran escala, en donde el método comprende:

- a) proporcionar valores de entrada estimados o medidos que describen el diámetro de la tubería y el ángulo de inclinación de la tubería con relación al plano horizontal,
- b) proporcionar valores de entrada estimados o medidos que describen el gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases, donde los valores de entrada estimados o medidos de la geometría del flujo comprenden al menos las posiciones de las interfases a gran escala que separan las fases de fluido continuas,
- c) emplear un modelo numérico basado en ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas del flujo de múltiples fases sobre una sección transversal vertical de la tubería, y
- d) resolver el modelo numérico con el conjunto de valores de entrada de las etapas a) y b) para determinar uno o más de los parámetros de flujo del flujo de múltiples fases seleccionados de la lista que comprende: perfiles de velocidades de fase y campo, perfiles de fracciones de volumen de fase y campo, perfiles de campo de los tamaños de las gotitas y burbujas, y velocidades superficiales de fase y campo, en donde el método comprende además:
 - dividir el área de sección transversal de la tubería en un número de cortes orientados horizontalmente discretos n definiendo un conjunto de $n - 1$ líneas de rejilla paralelas orientadas horizontalmente separadas una distancia vertical entre sí, donde n es un entero de 2 a 1000,
 - definir la posición de la línea de rejilla que yace más cercana de cada una de las interfases a gran escala para ser la misma que la posición de la interfase a gran escala respectiva,
 - definir, para cada uno de los cortes n , un conjunto de ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de dos dimensiones promediadas en conjunto para la conservación de la masa, el momento, los campos de turbulencia, la energía, y el tamaño de las fases de campo dispersas para la fase continua y cada campo disperso en la fase continua del n -ésimo corte,

– promediar las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de dos dimensiones para cada uno de los cortes n en dirección horizontal sobre el ancho del n -ésimo corte para proporcionar ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de una dimensión para cada uno de los cortes n , y

– cerrar las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de una dimensión acoplando los valores de campo para cada uno de los cortes n con las condiciones de límite de la pared de la tubería y el valor del valor de campo correspondiente del corte vecino, determinar, para cada una de las interfases a gran escala, los flujos de masa, momento y energía a través de la interfase a gran escala empleando funciones de pared y relacionando estos flujos con los valores de campo de los cortes en ambos lados de la interfase a gran escala, y empleando las fracciones de volumen de fase dispersa y la concentración de las fases dispersas como las condiciones de límite en la interfase a gran escala.

Los parámetros de flujo pueden transmitirse a un dispositivo de visualización para la representación visual, transmitirse a un dispositivo de almacenamiento de datos de ordenador para el uso posterior, o transmitirse a un dispositivo de memoria del ordenador para el uso como valores de entrada para otros modelos numéricos para la determinación de flujos de fluido de múltiples fases, tal como es decir, modelos de tres dimensiones. Los parámetros de flujo del fluido de múltiples fases que pueden determinarse por el primer aspecto de la invención, pueden en adición a los parámetros enumerados en el punto d) anteriormente, incluir además uno o más de los siguientes parámetros del flujo de fluido característicos; fracciones de volumen del fluido, coeficientes de transferencia de calor y masa, tamaños de las partículas o burbujas promedios, tensiones de corte de la pared. La lista de los parámetros de flujo especificados no es exhaustiva; puede incluirse además cualquier otro parámetro de flujo conocido o concebible que pueda extraerse a partir de la determinación numérica de flujos de fluido mediante modelos basados en ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas. Si el método se va a emplear para la determinación de coeficientes de transferencia de calor, puede ser necesario alimentarlo con valores del mundo real de la temperatura del fluido a granel y la temperatura de la pared de la tubería en la etapa a).

El primer aspecto de la invención representa un enfoque diferente del que se encuentra normalmente en la técnica anterior tomando los valores de entrada estimados o medidos que describen el gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases como un valor de entrada a partir del cual se determinan los parámetros del flujo. Los modelos convencionales toman normalmente el enfoque opuesto empleando valores de entrada que describen características físicas del flujo de múltiples fases, tal como es decir, temperatura, volúmenes de flujo, geometría de la tubería, etc. para determinar el gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases. Sin embargo, asumiendo que estos parámetros se conocen, la presente invención de acuerdo con el primer aspecto proporciona un método eficiente basado en el modelado numérico, pero el cual requiere tiempos de ejecución por ordenador y capacidades de memoria del ordenador relativamente pequeños, para determinar una gran variedad de parámetros de flujo característicos de los flujos de múltiples fases en tuberías los cuales superan los parámetros de flujo proporcionados por los modelos numéricos comparables de la técnica anterior. Tanto el primer aspecto y el segundo aspecto dado más abajo de la invención son bien adecuados para operadores de tuberías para la localización de averías en más o menos tiempo real en la operación de las tuberías, mediante el uso de retenciones y caídas de presión a partir de modelos estándares de punto de múltiples fases de cero dimensión como entrada, y de esta manera obteniendo información sobre el humedecimiento por gotitas de la parte superior de la tubería, y la distribución de agua líquida (ambas importantes para la corrosión) etc., y son adecuados además para implementarse en o acoplarse a modelos numéricos más avanzados para determinar los flujos de fluidos en tuberías.

La invención de acuerdo con el primer aspecto puede aplicarse además para determinar el gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases si se conocen las velocidades superficiales del mundo real de cada una de las fases del fluido en el flujo de fluido de múltiples fases. En este caso ellas pueden aplicarse como valores de referencia para refinar la solución del primer aspecto. La velocidad superficial de una fase del fluido es el régimen de flujo del volumen de la fase del fluido actual por la sección transversal de la tubería en la tubería actual. Esto puede obtenerse realizando una perturbación numérica de los valores de entrada para la geometría del flujo y el gradiente de presión axial para formar un conjunto de valores de entrada perturbados numéricamente, resolver el modelo numérico para cada uno de los valores de entrada perturbados numéricamente para formar un conjunto de velocidades superficiales virtuales, aplicar el conjunto de velocidades superficiales virtuales y el conjunto de valores de entrada perturbados numéricamente para determinar la relación entre los valores de entrada perturbados numéricamente y las velocidades superficiales virtuales resultantes para determinar los valores de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial específicos que corresponden a los valores del mundo real de las velocidades superficiales de las fases del fluido, y luego realizar una última solución del modelo numérico con esta geometría del flujo y valores del gradiente de presión.

Así, en un segundo aspecto, la invención se refiere a un método para determinar los parámetros de flujo de flujos de múltiples fases en una tubería, en donde el método comprende adicionalmente las etapas siguientes en el método del primer aspecto de la invención:

- d1) proporcionar valores del mundo real de las velocidades superficiales de cada una de las fases del fluido,
- d2) emplear una perturbación numérica en los valores del gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases de la etapa b) para formar un conjunto de valores de entrada perturbados numéricamente,

d3) resolver el modelo numérico con los valores de entrada de la etapa a) y cada uno de los valores de entrada perturbados numéricamente en el conjunto de la etapa d2) para obtener un conjunto de velocidades superficiales virtuales,

d4) formar una matriz Jacobiana a partir del conjunto de valores de entrada perturbados numéricamente de la etapa d2) y el conjunto de velocidades superficiales virtuales de la etapa d3), y emplear la matriz Jacobiana para determinar la relación entre los valores de entrada perturbados numéricamente y las velocidades superficiales de las fases del fluido,

d5) emplear la relación determinada de la etapa d4) para determinar el gradiente de presión axial y los valores de la geometría del flujo específicos que corresponden a los valores del mundo real de las velocidades superficiales de la etapa d1), y

d6) emplear el gradiente de presión axial y los valores de la geometría del flujo específicos de la etapa d5) como los valores de entrada en la etapa b) y luego realizar las etapas c) y d).

Mediante este refinamiento de la solución, el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención permite superar una limitación bien conocida de los modelos de una dimensión de ser dependientes de conocer la geometría del flujo (localizaciones de las interfases a gran escala) por adelantado para ser capaces de determinar las distribuciones espaciales de las variables tales como las velocidades de las fases, las fracciones de volumen (localizaciones de las interfases a gran escala) y los tamaños de las burbujas y las gotitas. Esta limitación se supera por la presente invención empleando una perturbación numérica en una suposición o estimación inicial de los parámetros de la geometría del flujo y mediante el uso de estos parámetros perturbados numéricamente como entrada en una serie de cálculos en un modelo de una dimensión basado en Euler para definir la matriz Jacobiana que establece la relación entre la geometría del flujo (y el gradiente de presión axial) y los regímenes de flujo del volumen de cada fase continua (es decir, las velocidades superficiales). Luego la matriz Jacobiana puede aplicarse para estimar la geometría del flujo correcta a partir del conocimiento medido o de cualquier otra manera proporcionado de los regímenes de flujo del volumen actual de las fases en el flujo de múltiples fases por tuberías, y luego aplicar la geometría del flujo y presión correcta como entrada al primer aspecto de la invención para determinar numéricamente una gran variedad de parámetros del flujo de fluido de múltiples fases con una exactitud y fiabilidad aumentada. De esta manera la invención permite usar el enfoque simple y de cálculos efectivos de los modelos de una dimensión para obtener un resultado con un nivel de información comparable con los modelos de tres dimensiones más grandes y más complejos.

El último enfoque que incluye el refinamiento de la solución que permite emplear un modelo de una dimensión para la determinación del flujo de múltiples fases sin conocer la geometría del flujo y el gradiente de presión por adelantado, se denotará a continuación como el "enfoque de modelo de punto de una dimensión". La distinción entre un enfoque de modelo de una dimensión y un enfoque de modelo de punto de una dimensión, es que el enfoque de modelo de una dimensión emplea un modelo de ID numérico directamente para determinar los parámetros del flujo a partir de un conjunto dado de valores de la geometría del flujo (tal como es decir, posiciones de las interfases a gran escala) y el gradiente de presión axial, mientras el enfoque de modelo de punto de una dimensión incluye la perturbación numérica y la matriz de Jacobi para refinar los parámetros del flujo y así permitir la determinación de la caída de presión y retención (determinación de las posiciones LSI) de las velocidades superficiales del mundo real. En general, el concepto de un enfoque de modelo de una dimensión es adecuado cuando la solución se va a aplicar como entrada a otros modelos numéricos (normalmente más avanzados), mientras el enfoque de modelo de punto de una dimensión es más adecuado como una herramienta independiente para la determinación de los flujos de múltiples fases.

El método puede incluir además una verificación de la solución y/o un refinamiento aumentado de la solución de acuerdo con el segundo aspecto de la invención insertando después de la etapa d6) las etapas adicionales:

d6-1) comparar el estimado de las velocidades superficiales del mundo real obtenidas en la etapa d6) con los valores del mundo real proporcionados de las velocidades superficiales de la etapa d1) y determinar el valor absoluto de la diferencia entre ellos, y

d6-2) comparar el valor absoluto de la diferencia de la etapa d6-1) con un criterio de corte predeterminado, y

– si la diferencia entre los valores del mundo real estimados y proporcionados de las velocidades superficiales es mayor que el criterio de corte, establecer los valores de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial obtenidos de la etapa d5) como los nuevos valores iniciales de la geometría del flujo y repetir las etapas c) a la d6-1), o

– si la diferencia entre los valores del mundo real estimados y proporcionados de las velocidades superficiales es menor que el criterio de corte, detener la ejecución del modelo numérico.

Esta característica de verificación de la solución y la posibilidad de refinar el resultado puede ser ventajosa en casos que se predice los flujos de múltiples fases con varias fases del fluido.

Los valores iniciales de la geometría del flujo son esos valores que representan la distribución física y las propiedades de las fases del fluido en la tubería. Cuando se aplica el primer aspecto de la invención, es necesario asumir que se conocen la geometría del flujo y el gradiente de presión axial. Estos valores de la geometría del flujo incluyen normalmente las localizaciones de las interfases a gran escala que separan las capas estratificadas adyacentes de las fases de fluido continuas en el flujo de múltiples fases, pero pueden incluir además los valores iniciales de los campos de turbulencias y los tamaños de campos dispersos. Estos valores iniciales de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial pueden proporcionarse ya sea como una salida de la determinación del flujo de múltiples fases de un modelo externo o haciendo simplemente una suposición inicial de estos valores.

La determinación de los valores de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial específicos de la matriz Jacobiana pueden obtenerse empleando la matriz para formar un conjunto de ecuaciones lineales algebraicas que relacionan los valores de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial con el conjunto de velocidades superficiales virtuales. Luego la determinación de los valores de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial específicos que corresponden a los valores del mundo real de las velocidades superficiales pueden obtenerse empleando este conjunto de ecuaciones lineales. La matriz Jacobiana puede incluir el valor inicial de los valores de la geometría del flujo y el gradiente de presión axial y las velocidades del flujo superficial virtual estimadas correspondientes.

Las velocidades superficiales del mundo real pueden ser simplemente una especificación escogida que representa una capacidad de transporte deseada de una tubería específica. Esto puede aplicarse en casos donde la invención de acuerdo con el segundo aspecto de la invención se va a usar como es decir, una herramienta para el diseño e ingeniería de construcción de tuberías. Además es posible emplear la invención de acuerdo con el segundo aspecto de la invención para regular la operación de una tubería y/o para localizar averías en el caso de retenciones reportadas en la tubería alimentando los volúmenes de flujo medidos de cada una de las fases del fluido continuas (que son proporcionales a las velocidades superficiales) y empleando la invención para determinar donde se van a esperar las retenciones etc. como la información de cómo regular la alimentación de múltiples fases dentro de la tubería.

El método de acuerdo con el primer aspecto de la invención no se vincula a un modelo de una dimensión específico, pero puede aplicar un modelo numérico de una dimensión conocido o concebible basado en las suposiciones de que el flujo se desarrolla completamente en tiempo sin gradientes axiales en velocidades y fracciones de volumen locales, y que el flujo se estratifica teniendo distintas capas de fluido orientadas horizontalmente debido al efecto gravitacional en los fluidos con diferentes densidades.

En una modalidad, el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención puede incluir un método específico para encontrar la distancia de la pared para la aplicación de las funciones de pared para determinar la tensión de corte de la pared: La distribución de velocidad radial en un flujo por tubería de una sola fase puede reconstruirse con precisión mediante el uso de las funciones de pared bien establecidas; ver es decir, Ashrafián & Johansen (2007) [3]. Después que la sección transversal de la tubería se ha cortado en un conjunto de cortes verticales usamos la distribución de velocidad dada por la función de pared para calcular la velocidad promedio del corte. Esto se hace para un intervalo significativo de números de Reynolds de flujo, y el grosor del corte contra el diámetro de la tubería. Basado en la velocidad promedio del corte y la tensión de corte de la pared conocida podemos encontrar la distancia de la pared, la cual cuando se pone dentro de la función de pared brinda la ahora conocida velocidad promedio del corte. Este método permite encontrar un modelo para una distancia de la pared como una función de i) número de Reynolds, ii) grosor del corte relativo y iii) distancia del corte desde la pared inferior, la cual cuando se usa junto con la función de pared devolverá una distribución constante de las tensiones de corte de la pared a lo largo del perímetro de la tubería. Aplicando el modelo para la distancia de la pared, elaborado en base a este procedimiento, podemos relacionar ahora la velocidad media en cada corte con la tensión de corte de la pared en el corte actual.

El método para encontrar la distancia de la pared puede comprender en una modalidad de ejemplo determinar las distancias a la pared de la tubería para cada fase de fluido continua estratificada del flujo de múltiples fases que se aplica en los cálculos numéricos mediante:

- emplear un valor de tensión de corte de la pared estimado o medido y la función de pared para determinar el perfil de velocidad para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas a través de la sección transversal vertical de la tubería,
- determinar una velocidad de flujo promedio para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas a través de la sección transversal vertical de la tubería mediante la integración sobre el área de sección transversal de la fase de fluido continua estratificada, y
- aplicar la velocidad de flujo promedio para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas y la función de pared para determinar la distancia a la pared que se aplica en el cálculo de las tensiones de corte de la pared en las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas.

En otra modalidad de ejemplo, el método para encontrar la distancia de la pared puede comprender, después de dividir el área de sección transversal de la tubería en un número de n cortes orientados horizontalmente discretos definiendo un conjunto de $n - 1$ líneas de rejilla paralelas orientadas horizontalmente separadas una distancia vertical entre sí, donde n es un entero de 2 a 1000, y definir la posición de la línea de rejilla que yace más cercana de cada una de las interfases a gran escala para que sea la misma que la posición de la interfase a gran escala respectiva, determinar las distancias a la pared de la tubería que se aplican en el cálculo de las tensiones de corte de la pared en las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas mediante el método de la modalidad de ejemplo anterior para cada uno de los cortes orientados horizontalmente discretos.

Sin embargo, una modalidad de ejemplo ventajosa de un modelo de una dimensión bien adecuado para el primer y segundo aspecto de la invención es un modelo del perfil de sección transversal promedio de corte de una dimensión donde el flujo en el corte se describe estableciendo primero las ecuaciones de flujo de dos dimensiones promediadas en conjunto que describen el flujo de dos dimensiones desarrollado completamente en la sección transversal del corte, y

luego promediándolas sobre el ancho de la tubería para formar una representación de una dimensión que proporciona perfiles de velocidad verticales (en la dirección de la gravedad), fracciones de volumen y otras variables de campo relevantes. Estos pueden emplearse subsecuentemente como entrada para resolver las ecuaciones de flujo promediadas en conjunto en la dirección vertical para establecer la relación entre los regímenes de flujo de las fases del fluido, las propiedades del fluido, la geometría de la tubería, la inclinación de la tubería y el gradiente de presión.

Esta modalidad ilustrativa puede proporcionar uno o más de los siguientes parámetros de flujo previstos para las fases y campos individuales del flujo de múltiples fases; las tensiones de corte de la pared, las fracciones de volumen, los tamaños de las gotitas, los tamaños de las burbujas, la energía turbulenta, las escalas de las longitudes turbulentas, los coeficientes de transferencia de calor, los coeficientes de transferencia de masa, etc., y puede formarse mediante es decir:

- dividir el área de sección transversal de la tubería en un número de n cortes orientados horizontalmente discretos que definen un conjunto de $n - 1$ líneas de rejilla paralelas orientadas horizontalmente separadas una distancia vertical entre sí, donde n es un entero de 2 a 1000,
- definir la posición de la línea de rejilla que yace más cercana de cada una de las interfases a gran escala para que sea la misma que la posición de la interfase a gran escala respectiva,
- definir, para cada uno de los cortes n , un conjunto de ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de dos dimensiones promediadas en conjunto para la conservación de masa, momento, campos de turbulencia, energía, y tamaño de las fases de campo dispersas para la fase continua y cada campo disperso en la fase continua del n -ésimo corte,
- promediar las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de dos dimensiones para cada uno de los cortes n en la dirección horizontal sobre el ancho del n -ésimo corte para proporcionar ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de una dimensión para cada uno de los cortes n , y
- cerrar las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de una dimensión acoplando los valores de campo para cada uno de los cortes n a las condiciones de límite de la pared de la tubería y el valor de campo correspondiente del corte vecino, determinar, para cada una de las interfases a gran escala, los flujos de masa, momento y energía a través de la interfase a gran escala empleando funciones de pared y relacionando estos flujos con los valores de campo de los cortes en ambos lados de la interfase a gran escala, y empleando las fracciones de volumen de fase dispersa y la concentración de las fases dispersas como las condiciones de límite en la interfase a gran escala.

Esta modalidad ilustrativa, es decir, el modelo del perfil de sección transversal promedio de corte de una dimensión anterior, permite el acoplamiento explícito con modelos de casi tres dimensiones (Q3D) o de tres dimensiones (3D) transitorios. Esto es una ventaja sobre los modelos de flujo de múltiples fases de una dimensión (1D) transitorios convencionales que son incapaces de proporcionar las distribuciones espaciales de las variables tales como las velocidades de las fases, las fracciones de volumen (retención), y los tamaños de las burbujas y las gotitas, ya que estas variables se agrupan simplemente en relaciones de cierre que necesitan ajustarse con el lazo de flujo de diámetro grande y/o los datos de campo.

Sin embargo, existen varias situaciones de flujo en tuberías prácticas que son muy complejas para modelarse adecuadamente por modelos asumiendo que el flujo se desarrolla completamente en tiempo sin gradientes axiales en velocidades y fracciones de volumen locales. Por lo tanto existe una necesidad de acoplar modelos de 1D transitorios con modelos Q3D o 3D cuando se aplican los modelos en tuberías reales. Mediante el uso del modelo del perfil de sección transversal promedio de corte de una dimensión de la modalidad de ejemplo de la invención, se hace posible transformar los resultados previstos del modelo de 1D transitorio en perfiles de velocidad y fracción de fase, que se usan después como la condición límite de entrada para una simulación de Q3D transitoria, o un modelo de flujo de 3D. De esta manera la invención es un elemento clave en el acoplamiento explícito de modelos de flujo de 1D y dimensiones mayores, tal como modelos de flujo de Q3D. En este caso el flujo de fluido dinámico previsto por los modelos de 1D, puede fluir hacia dentro de una tubería de Q3D donde pueden obtenerse muchos más detalles del flujo debido a la representación de mayor dimensión del flujo. Esto puede hacerse por es decir, un acoplamiento de 1D-Q3D o 1D-3D.

Es posible además acoplar directamente la salida de un modelo de Q3D o 3D a la salida de un modelo de 1D transitorio por medio del modelo del perfil de 1D (es decir, la modalidad de ejemplo del modelo del perfil de sección transversal promedio de corte de una dimensión). En los acoplamientos de 1D-Q3D (alternativamente 1D-3D) y Q3D-1D (alternativamente 3D-1D), los modelos se acoplan implícitamente en las uniones de 1D-Q3D (alternativamente 1D-3D) y Q3D-1D (alternativamente 3D-1D). En este caso el modelo del perfil tiene la misma, o similar, descripción física y numérica que el modelo de Q3D transitorio y cuando se promedia sobre la sección transversal de la tubería completa los valores de campo distribuidos se relacionan con los valores promedio de la sección transversal usados por el modelo de 1D. Cuando la dirección del flujo en la unión está en el dominio de Q3D, las alturas (posiciones transversales) de las interfases (límites de zonas) y el gradiente de presión, proporcionado por el modelo de 1D, se toman como entrada al modelo del perfil. El modelo del perfil calculará las distribuciones de fase y las distribuciones de velocidad. Mediante el uso de estas distribuciones puede crearse un enlace algebraico entre las ecuaciones del modelo de 1D y las ecuaciones del modelo de Q3D. Finalmente el método puede usarse para crear un acoplamiento implícito entre el modelo de 1D y el modelo de Q3D, en el cual los coeficientes de redistribución se obtienen directamente del modelo del perfil. El mismo método, como se describió anteriormente, puede usarse además cuando el flujo de cualquier modelo de 1D o de Q3D tiene el flujo contra corriente en una unión. En el otro caso de desagüe unidireccional de un dominio de Q3D, los

resultados de Q3D simplemente se promedian y se acoplan directamente al modelo de 1D, mediante el uso de la discretización numérica contra el viento de las cantidades transportadas en el dominio de 1D.

El método de acuerdo con el primer o segundo aspecto de la invención es bien adecuado para usarse en una o más de las siguientes utilidades:

- una herramienta para mejorar las leyes de cierre en los simuladores de flujo de múltiples fases de 1D transitorios,
- una herramienta para el ajuste rápido de los modelos de cierre en el modelo de Q3D transitorio,
- un método para inicializar las simulaciones de flujo de Q3D transitorios,
- un método para el acoplamiento de los modelos de flujo de 1D y Q3D transitorios para una precisión mejorada de los resultados de simulación transitorios de 1D, y
- una herramienta de ingeniería independiente para analizar la caída de presión y la retención de fase, que incluye los perfiles de velocidad locales y la distribución de fase.

La invención de acuerdo con el primer o segundo aspecto es bien adecuada cuando se van a acoplar simulaciones de múltiples fases de 1D y múltiples dimensiones (casi 3D). En este caso la invención puede usarse para reconstruir los perfiles de velocidad y distribución de fase a partir de los resultados de la simulación de 1D, que permiten una descripción del flujo de casi 2 dimensiones. Además, la invención de acuerdo con el primer aspecto permite implícitamente el acoplamiento de simulaciones de 1D y Q3D de múltiples fases. En este caso, los coeficientes algebraicos de las ecuaciones de 1D discretas y de Q3D discretas pueden acoplarse directamente dentro del solucionador de la ecuación. Esta posibilidad permite las simulaciones transitorias de grandes sistemas de tuberías con modelos de 1D, y luego usa porciones más pequeñas con tecnología de Q3D, con una resolución espacial mayor. En este caso los modelos de 1D y de múltiples dimensiones se acoplan completamente. Además, la invención de acuerdo con el primer aspecto tiene aplicaciones en mejorar la precisión de los modelos de predicción de múltiples fases de 1D para flujos de tuberías. En particular, los descuidos de distribución para los campos dispersos pueden predecirse con esta invención. El descuido de distribución es un resultado de los viajes por fases dispersas con velocidades locales que se desvían de las velocidades promedio de la zona.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un programa de ordenador, que comprende instrucciones de procesamiento que provocan que un ordenador realice el método de acuerdo con el primer y/o segundo aspecto de la invención cuando las instrucciones se ejecutan por un dispositivo de procesamiento en el ordenador. El programa de ordenador, además de las características definidas en el primer o segundo aspecto de la invención, puede incorporar cualquiera de las características adicionales, ya sea individualmente o en cualquier combinación concebible, proporcionadas en la descripción del primer y segundo aspecto de la invención anteriormente.

En un cuarto aspecto, la presente invención se refiere a un ordenador, que comprende un dispositivo de procesamiento y una memoria del ordenador, la memoria del ordenador almacena un programa de ordenador como se describió en el tercer aspecto de la invención.

Lista de las Figuras

La Figura 1 es una representación esquemática que muestra la distribución de las tres zonas posibles con agua (inferior), petróleo (intermedia) y gas (superior) continuas. La fase más pesada es inferior en el caso general. Cada zona consiste de la fase continua y de los campos dispersos que se hacen de las restantes fases presentes. Las Interfases a gran escala (LSI) separan las zonas individuales.

La Figura 2 es una representación esquemática que muestra los cortes (celdas de rejilla) y la configuración del flujo como se trata por el método de acuerdo con la invención para un flujo de 2 fases. La Figura muestra una interfase a gran escala (LSI) que separa la fase de gas continuo de la de líquido continuo.

La Figura 3 es una representación gráfica de una simulación de Q3D de un segmento de tubería que ilustra un acoplamiento de 1D-Q3D entre una modalidad de la presente invención y un modelo de Q3D convencional. Como se aprecia en la Figura, los perfiles de velocidad de afluencia y fracción de volumen del lado izquierdo, obtenidos por el modelo del perfil de 1D de la modalidad de ejemplo de la invención, se usan como las condiciones de límite de entrada para el modelo de Q3D.

La Figura 4 es un dibujo esquemático que muestra un ejemplo de un acoplamiento de 1D-Q3D-1D entre un modelo transitorio de 1D y un modelo de Q3D convencional de una tubería de petróleo y gas desde una plataforma cabeza de pozo fuera de la costa (WHP) hasta una instalación de producción en tierra. 1D denota las tuberías simuladas por el modelo transitorio de una dimensión convencional y Q3D por el modelo de flujo convencional de casi 3 dimensiones. El modelo del perfil de 1D de la invención se aplica en los puntos de unión entre el transitorio de 1D y el de Q3D para distribuir la masa, el momento y la energía sobre los cortes en la sección transversal de la tubería. La Figura muestra un pozo (izquierda) con las velocidades de afluencia X1 y X2, desde dos zonas de producción separadas 1 y 2.

Las Figuras 5a y 5b son representaciones gráficas de la distribución de fases, la acumulación de fases y las caídas de presión previstas en un flujo por tuberías de fluido de tres fases en la forma de distribuciones de perfil de velocidad y

fracción de volumen de fase. En la Figura 5a, las curvas azul y roja muestran las distribuciones de retención de agua y gas. El aceite no se muestra, pero rellena las aberturas entre el gas y el agua. Los valores de abscisa tienen unidades que corresponden a cada tipo de curva. La Figura 5b muestra el perfil de velocidad previsto y la distribución espacial del tamaño de la gotita promedio de Sauter del "aceite en gas" y el "aceite en agua". Los valores de abscisa tienen unidades que corresponden a cada tipo de curva.

Las Figuras 6a y 6b son representaciones gráficas que muestra una comparación de perfiles de velocidad determinados experimentalmente (Figura 6a) y perfiles de velocidad previstos por la modalidad de ejemplo de la invención (Figura 6b).

La Figura 7 es una representación gráfica que muestra las tensiones de corte de la pared ejercidas por las fases presentes en un flujo por tubería de tres fases como se previó por la modalidad de ejemplo de la invención.

Verificación de la invención

La invención se describirá a continuación en mayor detalle por medio de una modalidad de ejemplo.

Predecir el flujo de múltiples fases en una tubería de petróleo y gas

La modalidad de ejemplo es un enfoque de modelo de punto del perfil de una dimensión que emplea una modalidad de ejemplo de un modelo del perfil de una dimensión que puede interpretarse como un subconjunto de un modelo de Q3D, donde las dimensiones espaciales se reducen de 2 a 1 (transversal a la dirección del flujo) y se asume que el flujo es estacionario o casi estacionario. La modalidad de ejemplo emplea la interfase a gran escala y los conceptos de promedio de corte desarrollados para los modelos de Q3D, y es por lo tanto un modelo del perfil de una dimensión de acuerdo con la modalidad del modelo del perfil de sección transversal promedio de corte de una dimensión de la invención presentada anteriormente. Ver es decir, Laux y otros (2007) para más detalles.

El flujo de múltiples fases dentro de una tubería de petróleo y gas normalmente contiene una mezcla de petróleo, agua y gas. Cada fluido se subdivide en varios campos, que hacen posible distinguir las diferentes apariencias físicas de un fluido. En este flujo existen, como se ilustra en la Figura 1, tres fases continuas diferentes; agua, gas, y petróleo, y 12 campos; tres campos continuos (agua, petróleo, gas), agua dispersa en gas, petróleo disperso en gas, gas disperso en agua, gas disperso en petróleo, petróleo disperso en agua y agua dispersa en petróleo, películas de petróleo líquido y agua sobre la pared de la tubería en la zona de gas continuo, y una película de gas sobre la pared de la tubería en las zonas líquidas continuas.

Las interfases a gran escala (LSI) en este caso son la interfase continua que separa la fase de agua de la fase de petróleo, y la interfase continua que separa la fase de petróleo y gas como se muestra en la Figura 1. Como en los modelos de Q3D, las LSI en esta modalidad de ejemplo se tratan como límites dinámicos internos (construidos y seguidos en el tiempo), y el transporte de masa, momento, y energía en estas interfases se modela por medio de un conjunto de submodelos especialmente diseñados. Por ejemplo, la transferencia de masa a través de la LSI puede describirse por una relación algebraica entre el flujo de masa por un lado y por el otro lado las distancias locales a la LSI, la tensión de corte de la interfase, las propiedades del fluido y las concentraciones molares en cada lado de la interfase. De manera similar, para la transferencia de calor, el flujo de calor a través de la LSI puede describirse por una relación entre el flujo de calor por un lado y por el otro lado las distancias locales a la LSI, la tensión de corte de la interfase, las propiedades del fluido y las temperaturas en los puntos dados en cada lado de la interfase. Finalmente, el flujo de momento (tensión de corte) a través de la LSI se describe por una relación entre el flujo de momento por un lado y por el otro lado las distancias locales a la LSI, la tensión de corte de la interfase, las propiedades del fluido y las velocidades en los puntos dados en cada lado de la interfase. El último enfoque para la tensión de corte turbulenta en las LSI, conocido además como la aplicación de las funciones de pared [3], incluye el efecto de ondas entre fases, mediante el uso de las funciones de pared y la brusquedad de las ondas de la interfase [4] desde ambos lados de la interfase. Las LSI de esta modalidad son interfases promediadas en conjunto que separan las zonas de flujo con diferentes fluidos continuos.

La reducción de la descripción matemática de 2D a 1D se obtiene mediante el concepto de promedio de cortes. Los cortes se producen cortando la sección transversal de la tubería en una dirección transversal, en la dirección de la gravedad, para formar un conjunto de celdas de rejilla estratificadas que cubren la sección transversal completa de la tubería como se indica en la Figura 2 (que ilustra un flujo de dos fases de gas natural y condensado). Las ecuaciones de flujo de múltiples fases de 2D desarrolladas en cada corte se promedian para llegar a las ecuaciones de conservación de flujo que dependen solamente de la dirección transversal, lo que permite que se formulen las ecuaciones de modelo discreto. De esta manera se obtiene un conjunto de ecuaciones de transporte de una dimensión y que se cierra suministrando un conjunto adicional de términos de cierre para modelar los flujos que actúan sobre la pared lateral de la tubería. Estos flujos, tales como la tensión de corte de la pared y la producción de energía cinética turbulenta, se derivan y calculan localmente en cada celda de rejilla a través de la tubería, desde la pared inferior hasta la superior. Mediante el uso de este concepto, los gradientes de las variables de los campos resueltos se permiten en la dirección transversal, en la dirección de la gravedad (con respecto a la tubería). Este enfoque reducirá dramáticamente el tiempo de cálculo para obtener una solución de flujo desarrollada de un flujo de 3D. Mediante este enfoque de una dimensión básicamente, se hace posible hacer simulaciones rápidas de una gran variedad de configuraciones de flujo.

En la práctica, la formación del modelo de punto del perfil de una dimensión numérico de esta modalidad de ejemplo puede obtenerse mediante el siguiente procedimiento:

- 1) La sección transversal de la tubería se divide en áreas discretas o celdas computacionales dividiendo la sección transversal en cortes en una dirección espacial orientada horizontalmente, en la cual las áreas de corte discretas rellenan toda la sección transversal de la tubería.
- 2) El concepto de interfase a gran escala se introduce con el fin de manejar los procesos físicos que tienen lugar en las interfaces entre las zonas continuas (interfase principal de gas-líquido en flujos de dos fases) posicionando las LSI (petróleo-gas y agua-petróleo) en la geometría de la tubería. Se asume que se conocen las posiciones de la LSI y se colocan como una entrada geométrica al flujo.
- 3) El flujo puede asumirse estacionario y totalmente desarrollado, en el cual todos los términos transitorios y gradientes de campo axiales (en la dirección del flujo del fluido) desaparecen, o puede asumirse casi estacionario y no desarrollado totalmente, en el cual los términos transitorios, de convección y los términos de gravedad se promedian sobre la sección transversal de la tubería y los valores promedio se definen para cada zona que comprende un fluido continuo. Estos valores promedio de zona se usan como fuentes de momento explícitas para las ecuaciones de momento. De esta manera las tensiones de corte y los términos similares a la tensión de corte se resuelven en la sección transversal de la tubería (perfil) mientras los términos transitorios promedio de la sección transversal, los términos de convección y los términos de accionamiento de gravedad axiales son explícitos y constantes dentro de cada zona.
- 4) Las ecuaciones de flujo de múltiples fases para un campo continuo y varios campos dispersos se describen por las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas que se promedian sobre el ancho de los cortes. Las variables de campo en cada corte pueden acoplarse ahora a los valores de la pared (tal como temperatura de la pared) y los valores en el corte vecino. En los cortes, que no interfieren con una interfase a gran escala (LSI), la descripción del modelo está completa.
- 5) Cuando una LSI cae exactamente en una línea de rejilla entre dos celdas, los flujos de masa (deposición y arrastre), momento y energía se relacionan directamente con los valores de rejilla de los campos. Los flujos a través de la LSI se calculan empleando funciones de pared estándares, y los flujos se relacionan con la variable de campo en cada lado de la LSI. Para las fracciones de volumen de fase dispersa, la concentración de las fases dispersas en cada lado de la LSI se brinda como una condición de límite separada (BC).
- 6) En la mayoría de los casos no se cumple el 5), y la posición de la LSI se impone en la rejilla con el fin de representar fracciones de volumen dadas de las zonas. Cuando una LSI no cae exactamente en una línea de rejilla entre dos celdas, esta puede usarse en cualquiera de dos alternativas: La línea de rejilla más cercana a la LSI se mueve exactamente hacia la LSI y las posiciones de punto de la rejilla se ajustan hacia el centro de las celdas de rejilla adyacentes, o una línea de rejilla se alinea con precisión con la LSI y las líneas de rejilla restantes se redistribuyen para tener una rejilla lisa con una altura de celda similar en cada lado de la LSI.
- 7) Las ecuaciones de conservación discretas de campo disperso y continuo para cada fase se añaden ahora juntas para hacer las ecuaciones de transporte de la fase final.
- 8) Las representaciones discretas de las ecuaciones de transporte se resuelven numéricamente en la malla descrita en 1), 5) y 6). Las ecuaciones de transporte comprenden la conservación de masa, momento, campos de turbulencia, energía y tamaño de las fases de fase dispersa.
- 9) La solución en 8) se basa en las posiciones de la LSI dadas y el gradiente de presión y el resultado total de este cálculo es las velocidades superficiales o regímenes de flujo de masa de todas las fases presentes.
- 10) La solución, para un conjunto dado de las velocidades superficiales, puede obtenerse por el método de Newton. i) El Jacobiano de la relación entre la fracción de la zona y el gradiente de presión, y las velocidades de fase superficiales, se encuentran mediante la perturbación numérica del gradiente de presión y las fracciones de las zonas. ii) Para cada valor de perturbación el modelo del perfil debe resolverse para dar las velocidades superficiales correspondientes y resultantes. iii) Cuando se ha determinado la matriz Jacobiana de la perturbación, se forma un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales, que relacionan las velocidades superficiales objetivo con las fracciones de la zona de fluido (posiciones de la LSI), el gradiente de presión y las velocidades superficiales resultantes de la modalidad de ejemplo (modelo del perfil). iv) El conjunto de ecuaciones se resuelve a continuación para encontrar las nuevas fracciones de la zona de fluido y el gradiente de presión. v) El modelo de perfil de la modalidad de ejemplo se ejecuta con el nuevo gradiente de presión y las nuevas fracciones de la zona. Si las velocidades superficiales de fase difieren del valor objetivo, volver a la etapa i) anterior y hacer una iteración más. vi) Iterar las etapas i) a la v) hasta llegar a las velocidades de fase superficiales deseadas. El resultado de este procedimiento es que se hace posible determinar la caída de presión y la retención para un conjunto dado de velocidades superficiales.

El método descrito puede aplicarse como una herramienta de predicción independiente para predecir las distribuciones de fase, la retención de fase, los perfiles de velocidad y la caída de presión para fluidos con propiedades reológicas y físicas conocidas.

La modalidad de ejemplo es un simulador de 1D (una dimensión) de flujos de múltiples fases por tuberías que es adecuado para el acoplamiento directo de los modelos transitorios de 1D con los modelos de casi 3D (de los modelos de 3D) para el flujo transitorio de múltiples fases por tuberías (1D-Q3D, 1D-Q3D-1D) como se describió anteriormente. Un ejemplo de un acoplamiento de 1D-Q3D se ilustra en la Figura 3, que muestra un ejemplo de velocidades de fase de fluido calculadas y las posiciones de la LSI mediante un modelo de Q3D para un conjunto de celdas de rejilla que

representan un segmento de un flujo de dos fases por tubería. Las posiciones de la LSI y el gradiente de presión axial en el área aguas arriba (lado izquierdo) del segmento de tubería se determinan por el modelo transitorio de 1D, donde los perfiles de las velocidades de campo y las fracciones de volumen de fase dispersa se producen por la modalidad de ejemplo y se proporcionan continuamente al modelo de Q3D como valores de límite de entrada en el lado aguas arriba.

Un acoplamiento directo similar empleando las velocidades de fase del fluido, la posición de la LSI, el gradiente de presión axial de un modelo de Q3D o 3D puede emplearse ya que pueden aplicarse además valores de límite de entrada al modelo de 1D de la modalidad de ejemplo.

De esta manera, el modelo de perfil de 1D de la invención puede emplearse junto con un modelo transitorio de 1D y un modelo de Q3D o 3D convencional para simular es decir, el flujo de múltiples dimensiones en una tubería de petróleo y gas desde una plataforma cabeza de pozo fuera de la costa hasta una producción en tierra. Un ejemplo de tal acoplamiento de 1D-Q3D-1D se brinda en la Figura 4.A lo largo de la trayectoria del flujo, desde el pozo hasta la instalación de procesamiento, la mayor parte de la tubería se simula por el modelo transitorio de 1D.Sin embargo, en localizaciones críticas tales como curvas, el flujo se simula por el modelo de Q3D para una precisión mejorada. En este caso, en los puntos de unión entre el transitorio de 1D y el de Q3D, la solución del modelo del perfil se usa para distribuir la masa, el momento y la energía sobre los cortes en la sección transversal de la tubería. La rejilla cortada sobre la sección transversal de la tubería se comparte por el modelo del perfil y el modelo de Q3D.El enfoque del modelo del perfil de una dimensión de acuerdo con el primer aspecto de la invención es aquí el elemento clave para acoplar directamente la solución del flujo transitorio de 1D a la solución del flujo de Q3D.

Ejemplos de aplicación de la modalidad de ejemplo de la invención

La invención es bien adecuada para flujos de tipo de tuberías en la industria del petróleo y el gas, y pueden aplicarse para el análisis local de los fenómenos de flujo desarrollado estacionario. Adicionalmente, la invención puede tomar los resultados de la predicción de un modelo de flujo transitorio de 1D e interpretar las distribuciones espaciales tales como la distribución de fase y los perfiles de velocidad. De esta manera la invención puede usarse como una lupa dentro del flujo previsto por un modelo de flujo de múltiples fases de 1D.

Ejemplo 1

Mediante el uso de la modalidad de ejemplo de la invención como una herramienta independiente para predecir las distribuciones de fase, la acumulación de fase y las caídas de presión durante la transportación por tubería de fluidos se presenta en las Figuras 5a y 5b.

La tubería tiene un diámetro de 0,189 m, la rugosidad de la pared es de 20 micrómetros, las densidades son 103 (gas), 700 (petróleo) y 1000 kg/m³ (agua), las viscosidades son 0,000015 (gas), 0,00077 (petróleo) y 0,001 Pa s (agua), y las tensiones de la superficie son 0,021 (gas-petróleo), 0,072 (gas-agua) y 0,034 N/m (petróleo-agua).La tubería se inclina ligeramente hacia arriba, con una inclinación con relación a la horizontal de 1°.Las velocidades superficiales del gas, petróleo, y agua son 6,0, 0,3 y 0,3 m/s, respectivamente. Como puede verse a partir de la Figura 5a, la modalidad de ejemplo de la invención devuelve en este caso retenciones de gas, petróleo y agua de 0,71, 0,14 y 0,15, respectivamente, mientras el gradiente de presión previsto es -88 Pa/m. Las fracciones de volumen de la distribución espacial prevista de gas y agua se muestran en la Figura, mientras existe petróleo en la capa entre el gas y el agua. La Figura 5a muestra que la LSI de petróleo-agua se localiza en la posición relativa de 0,18 y la LSI de gas-petróleo en la posición relativa de 0,26.La Figura 5b muestra el tamaño medio de Sauter de las gotitas de petróleo en el agua (petróleo en agua) y las gotitas de agua en el petróleo (agua en petróleo).El perfil de velocidad del gas representa las velocidades de fase del gas, que son las velocidades del gas continuo por encima de la posición 0,26, la burbuja en la velocidad del petróleo para posiciones entre 0,18 y 0,26, y la burbuja en la velocidad del agua por debajo de la posición 0,18.

Ejemplo 2

Este ejemplo muestra el uso de la modalidad de ejemplo de la invención como una herramienta de soporte independiente, es decir, el enfoque del modelo de punto de 1D, para proporcionar la información de flujo útil en el diseño y/u operación de tuberías de petróleo y gas.

Las Figuras 6a y 6b son una comparación de los perfiles de velocidad determinados experimentalmente y los perfiles de velocidad previstos de la modalidad de ejemplo de la invención. La Figura 6a ilustra gráficas de los perfiles de velocidad determinados experimentalmente para un conjunto de flujos de dos fases donde la velocidad del flujo líquido se mantiene constante y la velocidad del flujo gaseoso varía. La Figura 6b proporciona una representación gráfica similar del mismo conjunto de flujos de dos fases como se previó a partir de la modalidad de ejemplo de la invención. Como puede verse a partir de las Figuras, el modelo del perfil de la modalidad de ejemplo puede representar estrechamente el perfil de velocidad actual y apoyar a los operadores o ingenieros en la toma de decisiones donde se necesita la información del flujo local.

Ejemplo 3

Uso de la modalidad de ejemplo de la invención como una herramienta independiente para análisis de ingeniería

directos. Basado en los regímenes de flujo, las propiedades del fluido, el diámetro y la inclinación de la tubería, se reportan la caída de presión y la acumulación de líquido. La información del perfil, que incluye la distribución de la masa de las gotitas sobre la sección transversal de la tubería, está disponible para evaluaciones de seguridad del flujo.

5 La modalidad de ejemplo de la invención puede es decir, brindar las distribuciones de las tensiones de corte locales, las temperaturas de la pared, los coeficientes de transferencia de calor y los coeficientes de transferencia de masa, todos a lo largo de la periferia de la tubería. Las tensiones de corte de la pared están disponibles a partir de los cálculos hidrodinámicos. Adicionando una fuente de calor o fuente de masa homogénea al flujo, se encuentran las soluciones de estado estacionario para las ecuaciones de energía y masa. Las temperaturas y concentraciones promedio de los cortes se relacionan con los flujos de calor y masa locales mediante la ayuda de las funciones de pared especialmente diseñadas. De esta manera se calculan los coeficientes de transferencia de calor locales, entre el flujo a granel y la pared de la tubería, y entre los fluidos que comparten una LSI. Estos coeficientes de transferencia de calor pueden usarse para mejorar el rendimiento de los códigos de flujo transitorio de 1D. De manera similar, esto se hace para la transferencia de masa de partículas (incrustaciones, cera, hidratos, asfaltenos) a la pared de la tubería, y para el intercambio de masa de componentes químicos a través de la LSI. Estas predicciones pueden usarse para evaluar potenciales de condensación del agua, deposición y corrosión de partículas. Un ejemplo de esta solicitud se ve en la Figura 7, donde se muestran las tensiones de corte de la pared ejercidas por las fases presentes. En la región dominada de gas las gotitas de petróleo ejercen una tensión de corte significativa, mayor que para el gas, debido a su gran densidad e inercia.

20 Definición de términos usados en la solicitud

Como se usa en la presente descripción, los significados de los siguientes términos se definen que son:

- "axial" significa en una dirección paralela con el eje central de la tubería (dirección del flujo del fluido),
- 25 – "fase de fluido continua" es una fase en la cual se dispersan las gotitas, burbujas, y partículas. En es decir, un flujo de múltiples fases de agua, petróleo, y gas natural, cada una de estas formará una fase continua estratificada separada por una interfase a gran escala,
- "ecuación de transporte Euleriana" es una ecuación diferencial parcial que expresa la ley de conservación para una variable dada en un sistema de coordenadas fijas,
- 30 – "acoplamiento explícito" significa que el desagüe de una tubería se inyecta en otra tubería, solamente actualizando secuencialmente los valores de afluencia para la tubería 2 con los valores de desagüe para la tubería 1. La presión de afluencia para la tubería 2 se acopla directamente a la presión de desagüe para la tubería 1,
- "campo" se usa para describir la apariencia física de una fase. El agua puede es decir, estar presente en las múltiples fases como los siguientes campos; gotitas de agua en el gas, gotitas de agua en el petróleo, fase de agua continua, película condensada de agua en la pared de la tubería etc.,
- 35 – "valores de la geometría del flujo" significa los valores que representan la distribución física y las propiedades de las fases del fluido en la tubería, y normalmente incluyen al menos la localización de las interfases a gran escala,
- "horizontal" se usa con relación al campo de gravedad de la tierra, de manera que un plano horizontal se orienta normal a la dirección del campo de gravedad de la tierra,
- 40 – "interfase a gran escala" significa la interfase entre dos regiones de fase continua en el flujo de múltiples fases,
- "ángulo de inclinación de la tubería" significa el ángulo entre el eje central de la tubería y el plano horizontal,
- "modelo de una dimensión" significa cualquier ecuación de transporte Euleriana de 1D basada en el modelo numérico que determina el flujo a partir de un conjunto dado de valores de la geometría del flujo,
- "modelo del perfil de una dimensión" es el modelo específico de sección transversal promedio de corte de una dimensión empleado en la modalidad de ejemplo de la presente invención,
- 45 – "modelo de punto de una dimensión" cualquier ecuación de transporte Euleriana de 1D basada en el modelo numérico que incluye la perturbación numérica de los valores de la geometría del flujo y la matriz de Jacobi para refinar los parámetros del flujo y así permitir la determinación de la caída de presión y la retención (determinación de las posiciones de la LSI) a partir de las velocidades superficiales del mundo real,
- 50 – "modelo de punto del perfil de una dimensión" es el modelo específico de sección transversal promedio de corte de una dimensión empleado en la modalidad de ejemplo de la presente invención y que incluye la perturbación numérica de los valores de la geometría del flujo y la matriz de Jacobi para refinar los parámetros del flujo y así permitir la determinación de la caída de presión y la retención (determinación de las posiciones de la LSI) a partir de las velocidades superficiales del mundo real,
- 55 – "modelo de casi 3 dimensiones" significa un modelo de flujo de múltiples fases de tres dimensiones que se promedia sobre una dirección transversal para simular los flujos de múltiples fases transitorios en tuberías en una malla de cálculo de dos dimensiones,
- "casi estacionario" significa una instantánea de un flujo transitorio en el sentido de que los términos de convección transitorios y otros gradientes axiales se asumen "congelados",
- 60 – "velocidad superficial de una fase del fluido" significa la velocidad del flujo que tendría la fase del fluido en la tubería si fuese la única fase del fluido presente. Es decir, la velocidad superficial es el régimen de flujo del volumen dividido con el área de la sección transversal de la tubería,
- "capas estratificadas de las fases de fluido continuas" significa que las fases del fluido del flujo de múltiples fases se asumen superpuestas entre sí en la tubería en capas orientadas horizontalmente,

- "contra el viento" significa que un valor del frente de la celda de un campo se calcula a partir del valor del campo en el lado aguas arriba del frente de la celda,
- "zona" significa una región de tres dimensiones que tiene un fluido común como la fase continua y donde se dispersan todas las otras fases dentro de la región.

5

Referencias

1. H.Laux, E. A. Meese, S. Mo, S. T. Johansen, K. M. Bansal, T. J. Danielson, A. Goldszal, y J. I. Monsen (2005), Multi-dimensional simulations of slug and slug-like flows in inclined pipes and channels, 6th North American BHRG Conference on Multiphase Technology, 12 de junio de 2005, Banff, págs. 21-36
2. Laux y otros(2007), "Simulation of multiphase flows composed of large scale interfaces and dispersed fields", *6th International Conference on Multiphase Flow, ICMF 200, Leipzig, Germany, 9-13 de julio*, Paper No S5_Tuc_D_29.
3. A. Ashrafian & S. T. Johansen ((2007), Wall boundary conditions for rough walls, Progress in Computational Fluid Dynamics, 7, págs. 230 - 236
4. H.Charnock (1955), Wind stress on water surface.Quart.J.Roy.Meteor.Soc., 81, 639-640.
5. P.A.B. de Sampaio y otros (2008), "Modelling of stratified gas-liquid two-phase flow in horizontal circular pipes", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, págs. 2752-2761.

20

Reivindicaciones

1. Un método implementado por ordenador para la determinación de los parámetros de flujo de un flujo de múltiples fases en una tubería, donde el flujo de múltiples fases comprende una pluralidad de fases de fluido continuas estratificadas separadas por interfases a gran escala, en donde el método comprende:
 - a) proporcionar los valores de entrada estimados o medidos que describen el diámetro de la tubería y el ángulo de inclinación de la tubería con relación al plano horizontal,
 - b) proporcionar los valores de entrada estimados o medidos que describen el gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases, donde los valores de entrada estimados o medidos de la geometría del flujo comprenden al menos las posiciones de las interfases a gran escala que separan las fases de fluido continuas,
 - c) emplear un modelo numérico basado en ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas del flujo de múltiples fases sobre una sección transversal vertical de la tubería, y
 - d) resolver el modelo numérico con el conjunto de valores de entrada de la etapa a) y b) para determinar uno o más de los parámetros de flujo del flujo de múltiples fases seleccionados de la lista que comprende; los perfiles de velocidades de fase y campo, los perfiles de fracciones de volumen de fase y campo, los perfiles de campo del tamaño de las gotitas y burbujas, y las velocidades superficiales de fase y campo, en donde el método comprende además:
 - dividir el área de sección transversal de la tubería en un número de n cortes orientados horizontalmente discretos definiendo un conjunto de $n - 1$ líneas de rejilla paralelas orientadas horizontalmente separadas una distancia vertical entre sí, donde n es un entero de 2 a 1000,
 - definir la posición de la línea de rejilla que yace más cercana de cada una de las interfases a gran escala para que sea la misma que la posición de la interfase a gran escala respectiva,
 - definir, para cada uno de los cortes n , un conjunto de ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de dos dimensiones promediadas en conjunto para la conservación de masa, momento, campos de turbulencia, energía, y tamaño de las fases de campo dispersas para la fase continua y cada campo disperso en la fase continua del enésimo corte,
 - promediar las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de dos dimensiones para cada uno de los cortes n en la dirección horizontal sobre el ancho del enésimo corte para proporcionar ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de una dimensión para cada uno de los cortes n , y
 - cerrar las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas de una dimensión acoplando los valores de campo para cada uno de los cortes n con las condiciones de límite de la pared de la tubería y el valor de campo correspondiente del corte vecino, determinar, para cada una de las interfases a gran escala, los flujos de masa, momento y energía a través de la interfase a gran escala empleando funciones de pared y relacionando estos flujos con los valores de campo de los cortes en ambos lados de la interfase a gran escala, y emplear las fracciones de volumen de fase dispersa y la concentración de las fases dispersas como condiciones de límite en la interfase a gran escala.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el método comprende además las etapas siguientes:
 - d1) proporcionar los valores del mundo real de las velocidades superficiales de cada una de las fases del fluido,
 - d2) emplear la perturbación numérica en el gradiente de presión axial y los valores de la geometría de flujo del flujo de múltiples fases de la etapa b) para formar un conjunto de valores de entrada perturbados numéricamente,
 - d3) resolver el modelo numérico con los valores de entrada de la etapa a) y cada uno de los valores de entrada perturbados numéricamente en el conjunto de la etapa d2) para obtener un conjunto de velocidades superficiales virtuales,
 - d4) formar una matriz Jacobiana a partir del conjunto de valores de entrada perturbados numéricamente de la etapa d2) y el conjunto de velocidades superficiales virtuales de la etapa d3), y emplear la matriz Jacobiana para determinar la relación entre los valores de entrada perturbados numéricamente y las velocidades superficiales de las fases del fluido,
 - d5) emplear la relación determinada de la etapa d4) para determinar el gradiente de presión axial y los valores de la geometría del flujo específicos que corresponden a los valores del mundo real de las velocidades superficiales de la etapa d1), y
 - d6) emplear el gradiente de presión axial y los valores de la geometría del flujo específicos de la etapa d5) como los valores de entrada en la etapa b) y luego realizar las etapas c) y d).
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el método comprende además insertar después de la etapa d6) las etapas adicionales de:
 - d6-1) comparar el estimado de las velocidades superficiales del mundo real obtenidas en la etapa d6) con los valores del mundo real proporcionados de las velocidades superficiales de la etapa d1) y determinar el valor absoluto de la diferencia entre ellas, y
 - d6-2) comparar el valor absoluto de la diferencia de la etapa d6-1) con un criterio de corte predeterminado, y
 - si la diferencia entre los valores del mundo real estimados y proporcionados de las velocidades superficiales son mayores que el criterio de corte, establecer los valores de la geometría del flujo y el gradiente de

presión axial obtenidos de la etapa d5) como los nuevos valores iniciales de la geometría del flujo y repetir las etapas c) a la d6-1), o

- si la diferencia entre los valores del mundo real estimados y proporcionados de las velocidades superficiales es menor que el criterio de corte, dejar de ejecutar el modelo numérico.

- 5 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los parámetros del flujo de fluido característicos incluyen además uno o más de los siguientes parámetros; las fracciones de volumen del fluido, los coeficientes de transferencia de calor y masa, los tamaños de las partículas o burbujas promediados, las tensiones de corte de la pared.
- 10 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los valores de entrada que describen la geometría de flujo del flujo de múltiples fases comprende además los valores iniciales de los campos de turbulencias y los tamaños de los campos dispersos.
- 15 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en donde los valores de entrada que representan las velocidades superficiales del mundo real se basan en mediciones del régimen de flujo del volumen de cada una de las fases del fluido en la tubería.
- 20 7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los parámetros de flujo determinados se transmiten a un dispositivo de visualización para la representación visual, un dispositivo de almacenamiento de datos de ordenador, o se transmiten a un dispositivo de memoria del ordenador, o una combinación de estos.
- 25 8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método se aplica para predecir uno o más de los siguientes parámetros de flujo para las fases y campos individuales del flujo de múltiples fases; las tensiones de corte de la pared, las fracciones de volumen, los tamaños de las gotitas, los tamaños de las burbujas, la energía turbulenta, las escalas de las longitudes turbulentas, los coeficientes de transferencia de calor, y los coeficientes de transferencia de masa.
- 30 9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método se aplica para predecir los perfiles de velocidad y de fracción de fase del flujo de múltiples fases, y luego emplea los perfiles de velocidad y de fracción de fase como condiciones de límite en un modelo transitorio de casi tres dimensiones o un modelo de flujo de tres dimensiones para determinar los parámetros de flujo de un flujo de múltiples fases en una tubería.
- 35 10. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los valores de entrada que describen el gradiente de presión axial y la geometría de flujo del flujo de múltiples fases se obtienen a partir de un modelo transitorio de una dimensión, y donde la salida del modelo del perfil puede devolverse opcionalmente al modelo transitorio de una dimensión con el fin de mejorar su precisión de predicción.
- 40 11. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el modelo numérico es un modelo de una dimensión o un modelo de casi dos dimensiones formado estableciendo una descripción de dos dimensiones del flujo a través de un corte de sección transversal y promediando sobre el corte de la sección transversal.
- 45 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en donde el modelo numérico comprende además determinar las distancias a la pared de la tubería para cada fase de fluido continua estratificada del flujo de múltiples fases que se aplica en los cálculos numéricos mediante:
 - emplear un valor de tensión de corte de la pared estimado o medido y la función de pared para determinar el perfil de velocidad para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas a través de la sección transversal vertical de la tubería,
 - determinar una velocidad de flujo promedio para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas a través de la sección transversal vertical de la tubería mediante la integración sobre el área de sección transversal de la fase de fluido continua estratificada, y
 - aplicar la velocidad de flujo promedio para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas y la función de pared para determinar la distancia a la pared que se aplica en el cálculo de las tensiones de corte de la pared en las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas para cada una de las fases de fluido continuas estratificadas.
- 50 13. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12, en donde el método:
 - después de dividir el área de sección transversal de la tubería en un número de n cortes orientados horizontalmente discretos definiendo un conjunto de n - 1 líneas de rejilla paralelas orientadas horizontalmente separadas una distancia vertical entre sí, donde n es un entero de 2 a 1000, y definir la posición de la línea de rejilla que yace más cercana de cada una de las interfases a gran escala para que sea la misma que la posición de la interfase a gran escala respectiva, implica además:
- 60
- 65

– determinar las distancias a la pared de la tubería que se aplican en el cálculo de las tensiones de corte de la pared en las ecuaciones de transporte formuladas Eulerianas mediante el método de la reivindicación 12 para cada uno de los cortes orientados horizontalmente discretos.

- 5 14. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método se aplica para uno de los siguientes;
 - localizar de averías durante la operación de una tubería con un flujo de fluido de múltiples fases,
 - usar como entradas las retenciones y las caídas de presión de los modelos estándares de punto de múltiples
 - 10 fases de cero dimensión, y de esta manera obtener la información sobre el humedecimiento por gotitas de la parte superior de la tubería y el agua líquida, o
 - que se implementan en o acoplan a otros modelos numéricos para determinar los flujos de fluidos en tuberías.
- 15 15. Un programa de ordenador, que comprende instrucciones de procesamiento que provocan que un ordenador realice el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 14 cuando las instrucciones se ejecutan por un dispositivo de procesamiento en el ordenador.
16. Un ordenador, que comprende un dispositivo de procesamiento y una memoria del ordenador, la memoria del ordenador almacena un programa de ordenador como se estableció en la reivindicación 15.

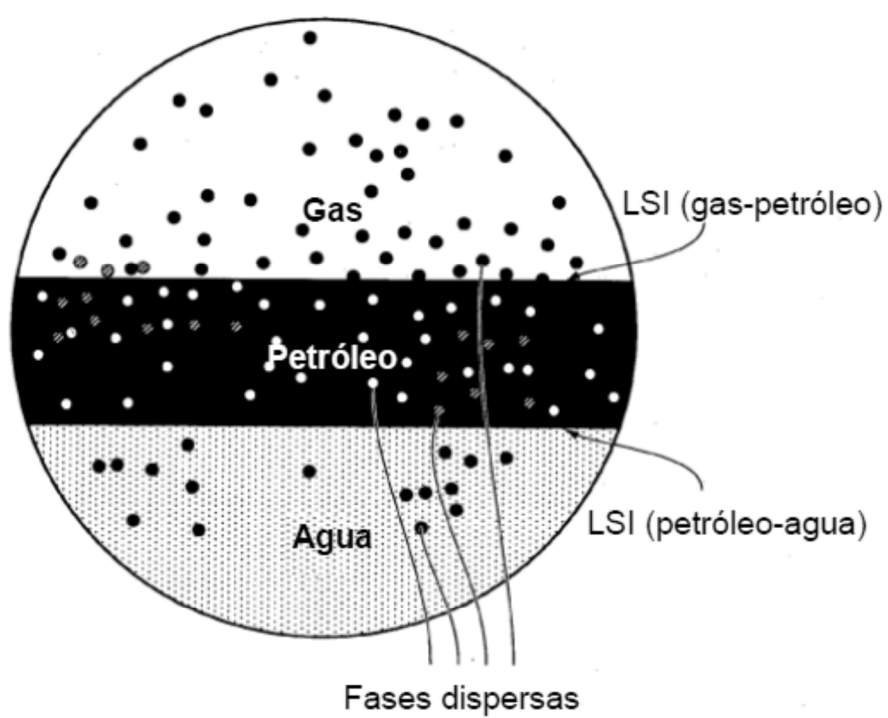


Fig. 1

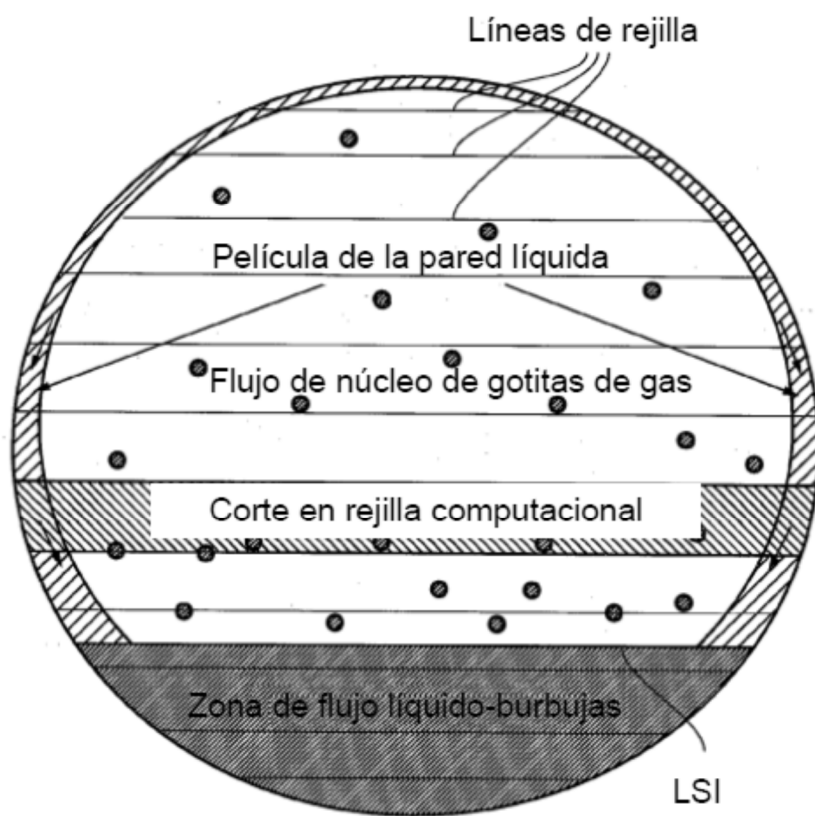


Fig. 2

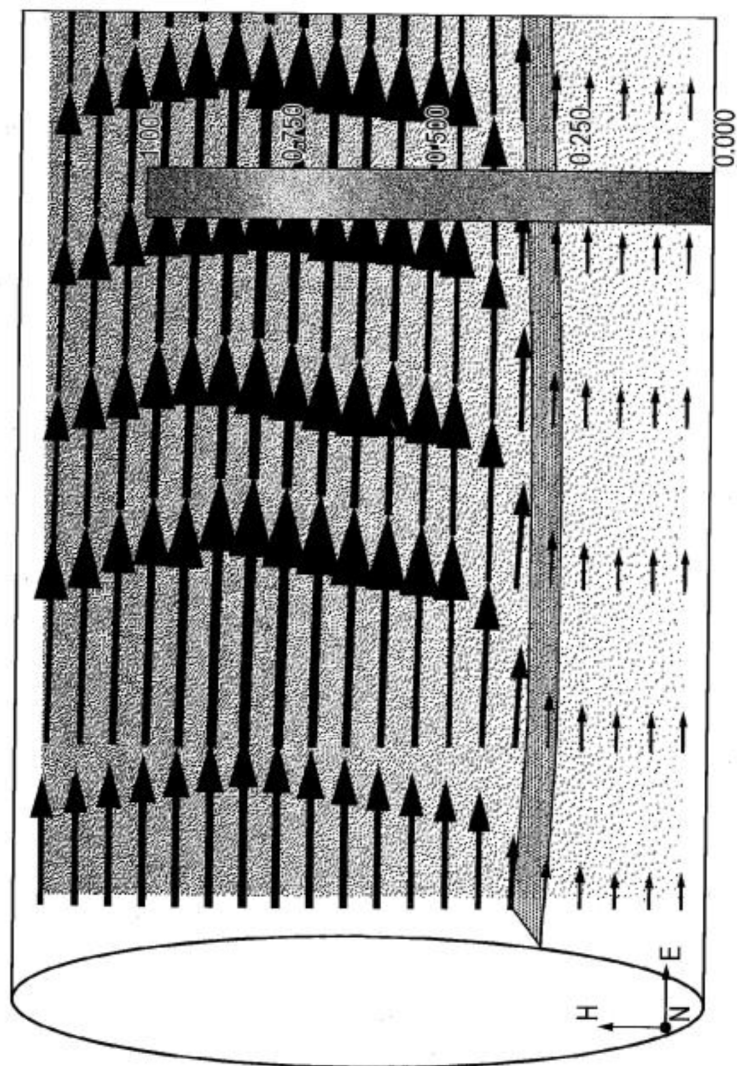


Fig. 3

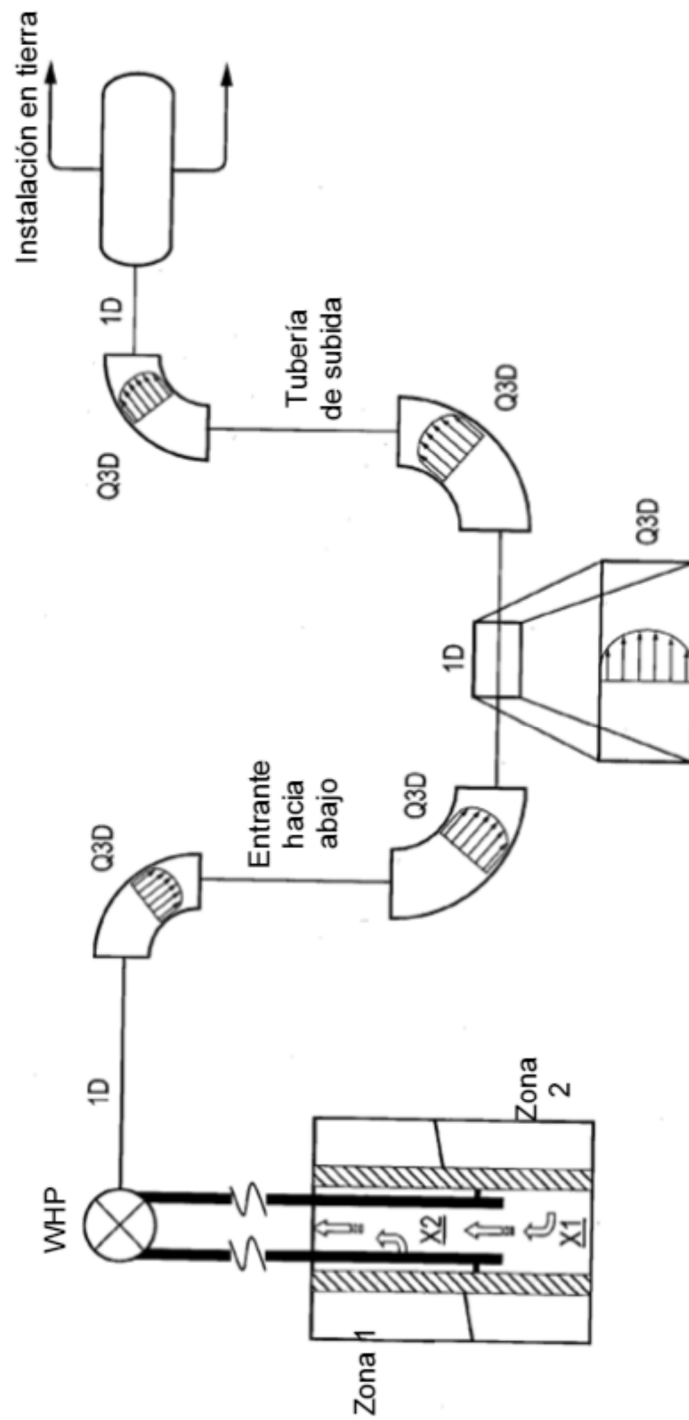


Fig. 4

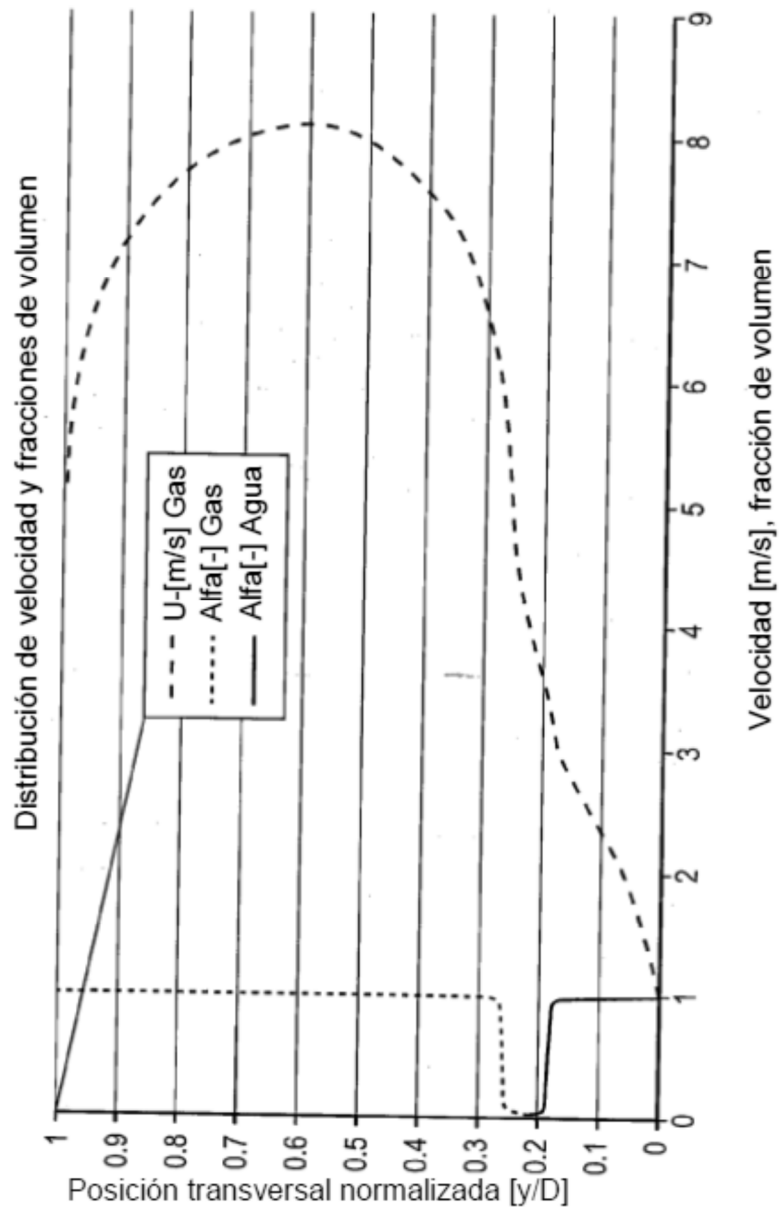


Fig. 5a

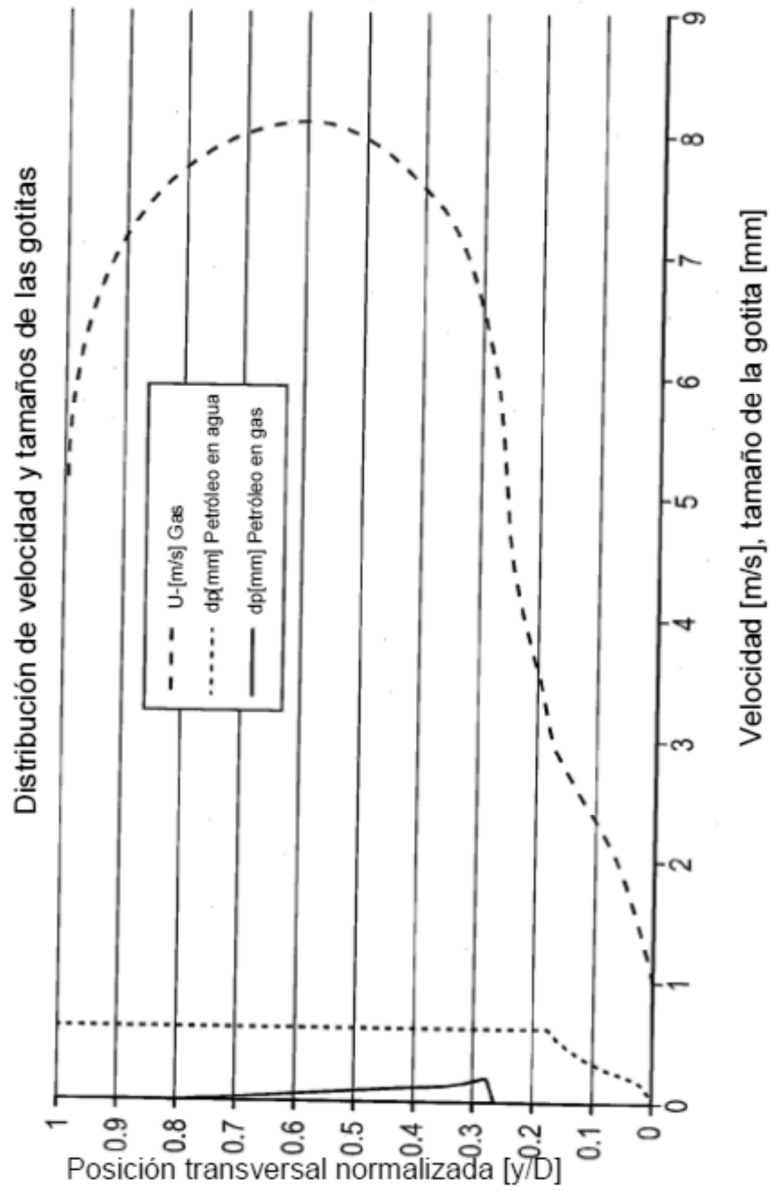


Fig. 5b

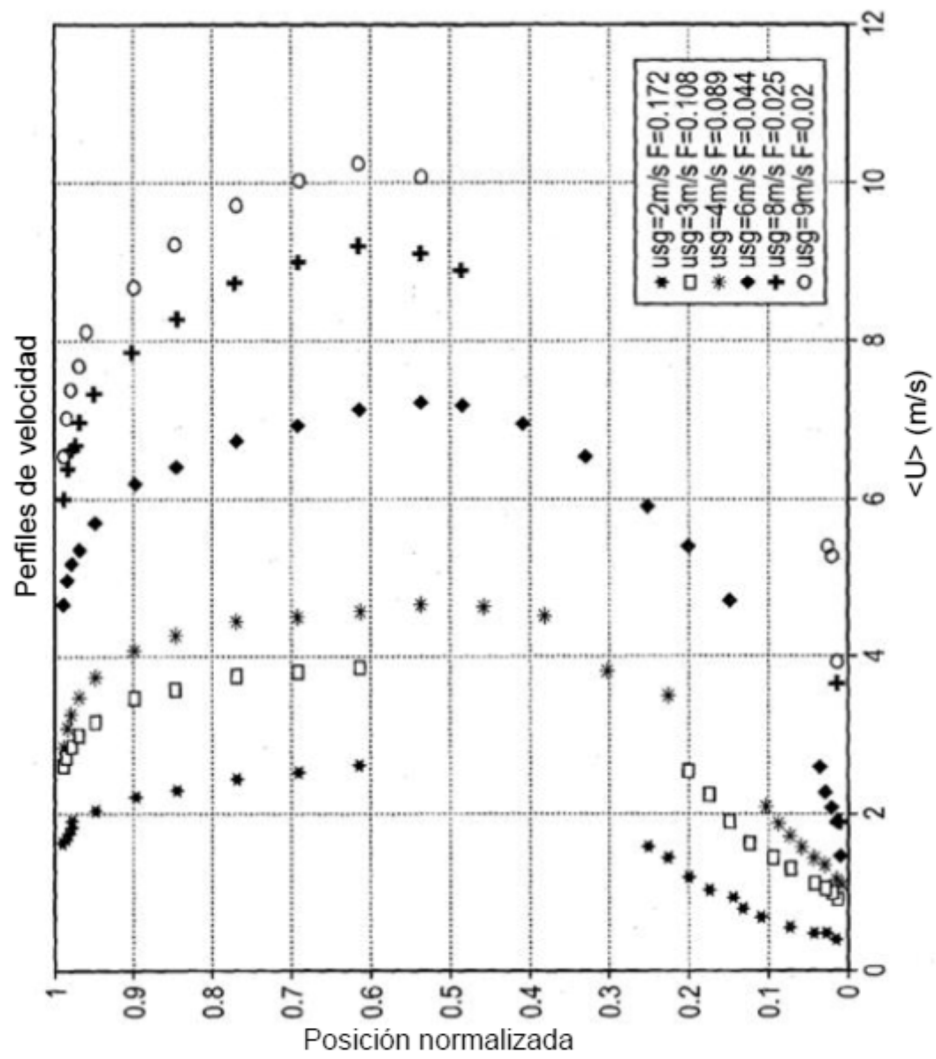
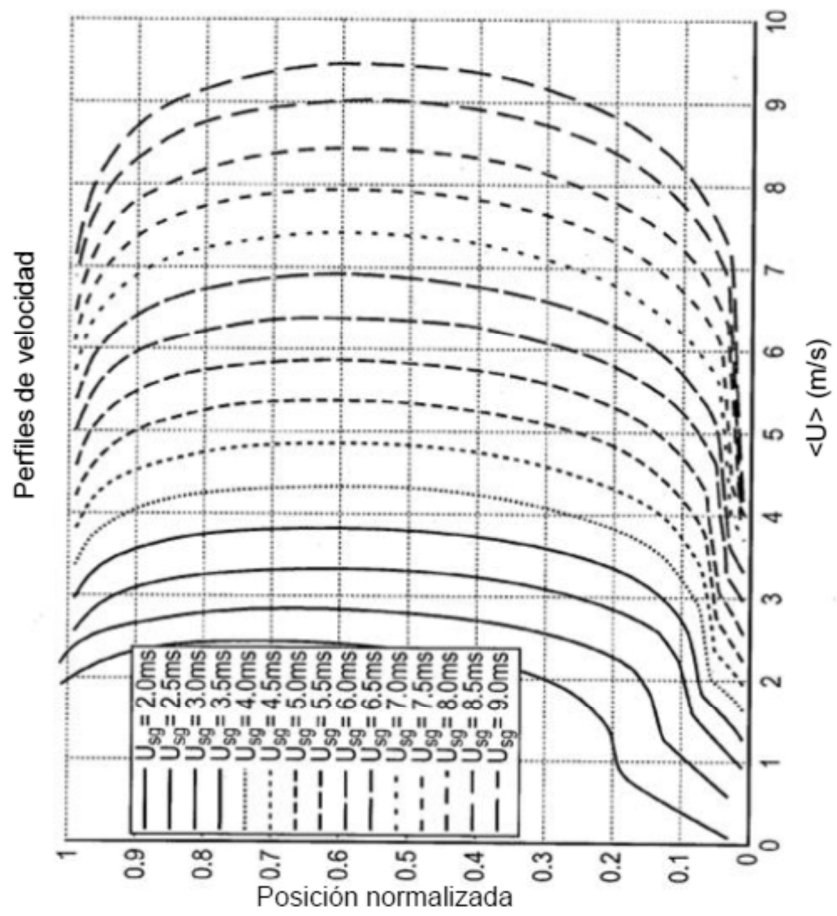


Fig. 6a



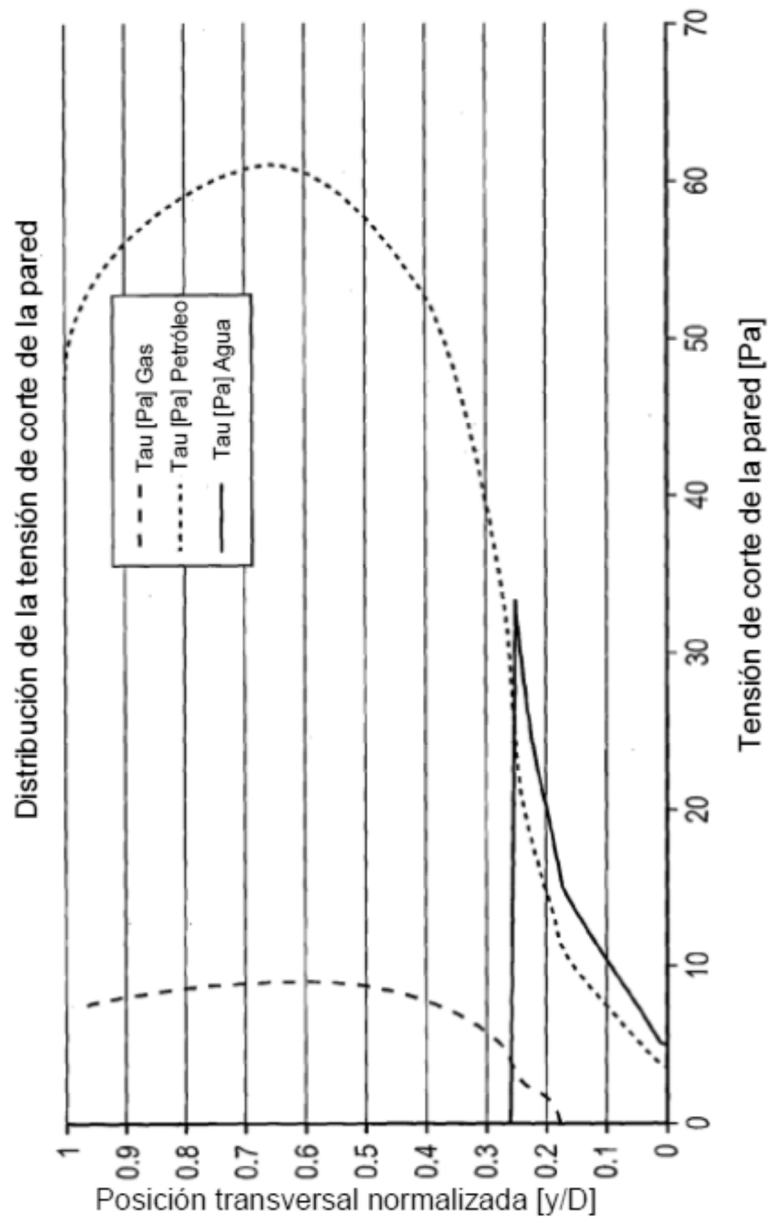


Fig. 7