

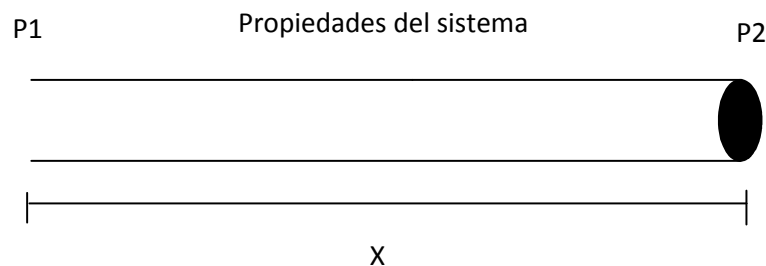
CAPÍTULO 5 ANÁLISIS EN RÉGIMEN TRANSITORIO

5.1 Régimen estacionario

Históricamente se ha dependido de la simulación en régimen estacionario para hacer el análisis del comportamiento del flujo de hidrocarburos a través de los ductos. Esto es debido a que resulta mucho más fácil y rápido hacerlo de este modo ya que los parámetros no varían con la distancia ni con el tiempo.

De esta manera, el análisis en régimen estacionario solo nos ayuda a saber el comportamiento del sistema en un momento específico, lo que produce una gran cantidad de errores durante el diseño y operación de las líneas de conducción.

Existen varios programas de cómputo comerciales, que permiten hacer simulaciones de flujo multifásico en estado estacionario de manera relativamente sencilla y rápida, ya que solo hay que asignar una vez las propiedades para todo el sistema.



5.2 Régimen Transitorio

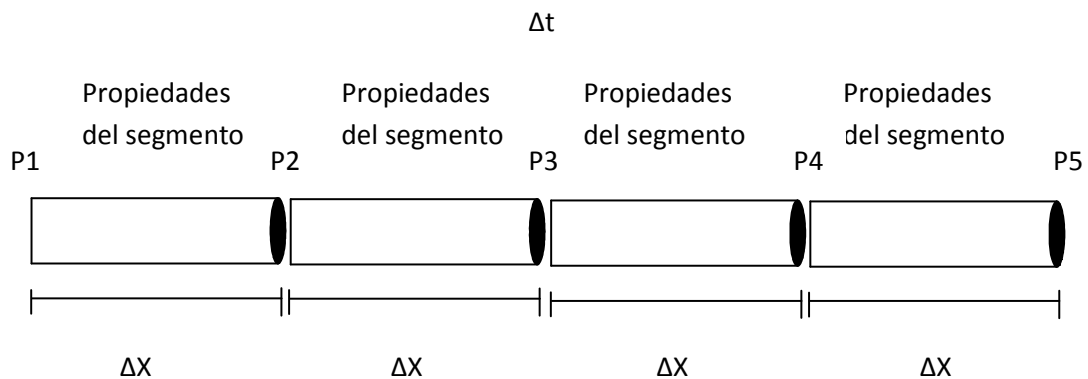
Surgió entonces la necesidad de hacer un estudio más preciso y se desarrolló el análisis en régimen transitorio. Esta evolución en la simulación se hizo posible gracias a los avances computacionales de las últimas décadas, ya que la complejidad y número de las ecuaciones que deben resolverse requiere de gran poder de procesamiento.

La diferencia entre el análisis en régimen estacionario y el análisis en régimen transitorio radica en que en el estacionario se resuelve un conjunto de ecuaciones algebraicas para las se que mantienen fijos los valores de las propiedades del sistema y los parámetros de

flujo, mientras que para el transitorio se resuelve un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales donde se representan los cambios en el sistema.

Para que se puedan representar los cambios en el sistema durante el flujo, es necesario discretizar el dominio tanto en espacio como en tiempo. La discretización consiste en dividir el sistema en segmentos de tubería y en intervalos de tiempo. Así, obtenemos un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales y para llegar a una solución numérica tenemos que discretizarlas también para convertirlas en ecuaciones algebraicas, esto se logra generalmente utilizando el método de diferencias finitas para aproximar las derivadas.

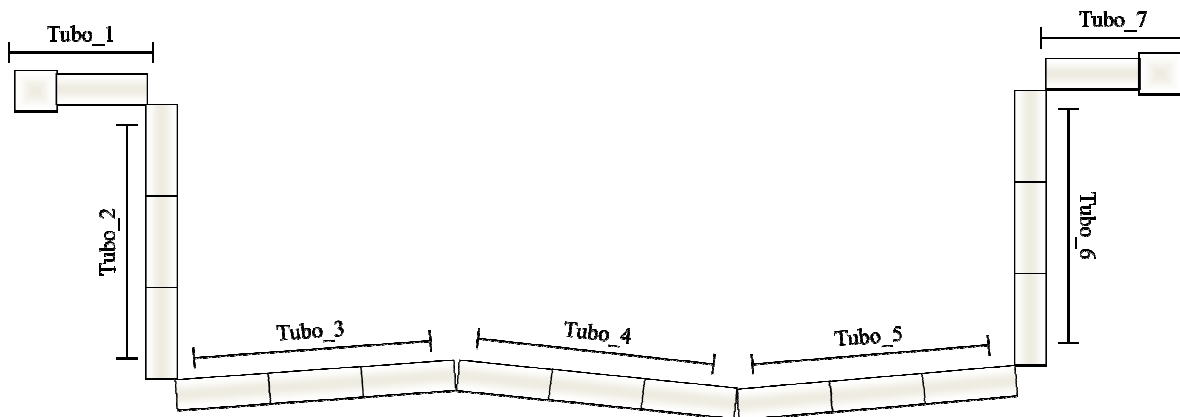
Mientras más pequeño sea el intervalo de tiempo a tomar en cuenta para cada paso, más precisa será la solución, pero por otro lado requerirá mayor poder computacional, más tiempo e implicará un costo mayor, por lo que es importante buscar un equilibrio entre la precisión requerida y los recursos disponibles.



Para discretizar la línea lo mejor es dividirla primero en tubos unitarios y luego en secciones de cada uno de estos tubos.

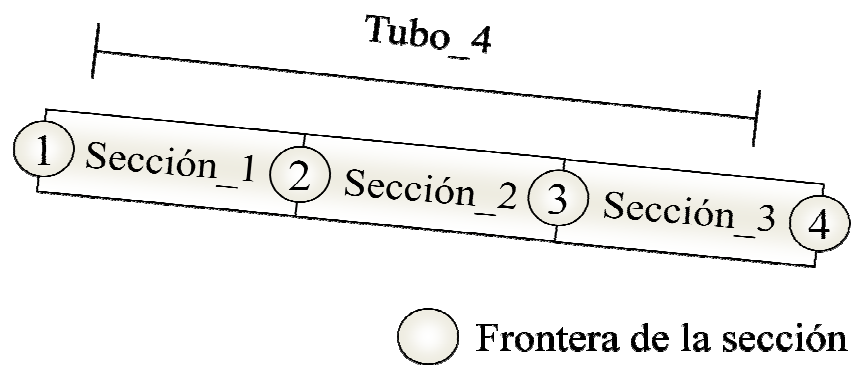
- Cada tubo representa un tramo de tubería que tiene una inclinación constante
- Cada una de las secciones en que se divide un tubo debe tener sus fronteras establecidas.
- Lo mejor es hacer la discretización de manera automática utilizando alguna herramienta computacional que muchas veces vienen incluidas dentro del mismo simulador que se esté manejando.

En la siguiente figura se muestra la discretización de la línea en tubos y secciones de los tubos:



Discretización de la línea. IMP 2006

Haciendo un acercamiento al tubo4 podemos observar como está discretizado en secciones, cada una de las cuales tiene sus fronteras definidas:



Cada tubo debe constar de al menos dos secciones, porque no es posible abarcar todo el tubo en un solo paso de integración.

Esta forma de discretizar facilita la construcción de geometrías complejas para poder estudiar un modelo realmente representativo del sistema.

Con el fin de optimizar el tiempo de cómputo, se recomienda simplificar los datos en la medida de lo posible para tener el menor número de secciones posibles y evitar que queden secciones muy pequeñas.

Algunas de las opciones que se presentan para hacer un análisis más completo durante una simulación en régimen transitorio son las siguientes:

- Cada tubo puede tener condiciones de pared diferentes, esto significa que se pueden determinar los recubrimientos y características especiales de cada uno.
- Las fronteras pueden considerarse cerradas o abiertas, establecerlas a presión constante o a gasto constante.
- Se pueden establecer puntos de muestreo en diferentes puntos de la tubería y obtener reportes de la simulación.

Los resultados de la simulación se pueden analizar a través de diversos formatos de salida que facilitan la comprensión e interpretación, estos incluyen:

- Tablas, que se generan de acuerdo a parámetros definidos por el usuario y están en función del tiempo.
- Gráficos de tendencia, que muestran el valor en el tiempo de una variable en un punto fijo.
- Perfiles, que nos presentan el valor de una variable a lo largo de todo un tramo respecto al tiempo.

Por lo tanto, se pueden establecer el siguiente procedimiento para hacer el análisis en régimen transitorio:

1. Definir el alcance y objetivos del análisis.
2. Definir el dominio completo del sistema a analizar.
3. Discretizar dicho dominio en espacio y tiempo, tomando en cuenta la precisión requerida así como las fechas de entrega, costos y recursos computacionales disponibles.
4. Establecer las propiedades de cada segmento en que dividimos el sistema.
5. Escoger el programa de cómputo más adecuado para hacer la simulación de acuerdo a nuestras necesidades.
6. Revisar que los resultados sean coherentes con el proceso simulado.

Muchas veces, los errores que se presentan son debidos a la inestabilidad numérica. Esta se presenta debido a la naturaleza iterativa de los métodos numéricos utilizados para la solución de las ecuaciones, por lo que se produce un error que se va incrementando en las sucesivas iteraciones. Para evitar la inestabilidad numérica se recomienda utilizar intervalos de tiempo pequeños para la simulación, así como revisar que no haya cambios muy bruscos de las propiedades entre un segmento y otro.

La ventaja principal de considerar el análisis en régimen transitorio es que permite optimizar el flujo a través de los ductos, además de prevenir y reparar problemas operativos, porque nos presenta el comportamiento del flujo a cada paso con lo que podemos identificar las variaciones en las propiedades y condiciones del flujo y obtener una representación mucho más real de todo el proceso.

Es por esto que se hace la analogía de que el análisis en régimen estacionario es como tener una fotografía del sistema mientras que el análisis en régimen transitorio es como tener un video.

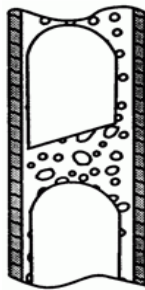
Para poder hacer el análisis en régimen transitorio de un flujo multifásico, los programas de simulación deben tener las siguientes características:

- Manejar un modelo de flujo multifásico unidireccional en estado transitorio, tomando en cuenta tres diferentes consideraciones, la película de líquido, el gas y las gotas de líquido dispersas en la fase gaseosa

- Resolver de manera simultánea las ecuaciones de conservación de masa y de momentum para el líquido, el gas y la fase dispersa.
- Reconocer diferentes regímenes de flujo, ya sean separados o distribuidos.
- Reconocer diferentes patrones de flujo, para flujo horizontal el estratificado, anular, tapó y burbuja; para flujo vertical anular, tapón y burbuja.

Prevención del flujo tipo Tapón

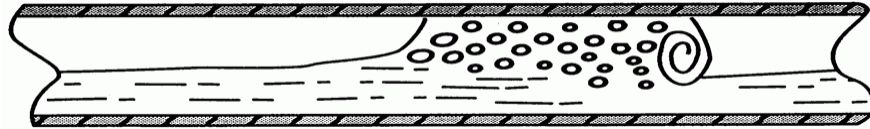
Una de las principales ventajas que otorga el hacer el análisis en régimen transitorio utilizando un simulador es la de prevenir y controlar los efectos del patrón de flujo tipo tapón tanto en flujo vertical como en flujo horizontal.



Flujo tapón, vertical. IMP 2006

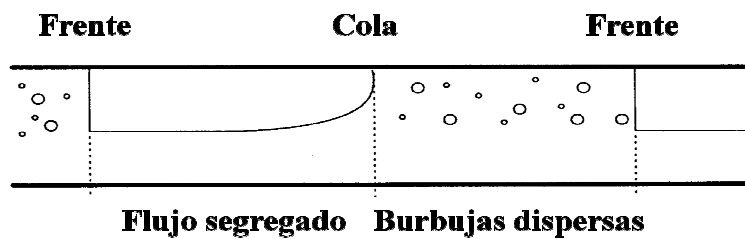
Este tipo de flujo se presenta cuando fluyen simultáneamente líquido y gas a través de la tubería. Los tapones son de gas cuando se forman grandes burbujas que se mueven a gran velocidad a través de la tubería y provocan problemas operativos, daños en los equipos y grandes cambios de presión.

Por otra parte, también se pueden presentar tapones de líquido, dentro de una fase continua de gas, viajando a alta velocidad, se presentan bloques o tapones de fluido más pesado y lento, el líquido. Estos tapones son impulsados por la corriente de gas y golpean contra las paredes de la tubería provocando el famoso “golpe de ariete” que va dañando la tubería y el equipo.



Flujo tapón, horizontal. IMP 2006

En la siguiente figura podemos observar a detalle como es que está formado un tapón durante el flujo:



Es posible asignar coordenadas al frente y a la cola de un tapón para poder hacer un seguimiento dinámico de su posición y tamaño a lo largo de la línea.

La formación de los tapones puede deberse a diferentes causas, como son:

- Hidrodinámicas.
- Por cambios en el terreno.
- Arranque de líneas.
- Corridas de limpieza.

Gracias a la simulación del flujo en régimen transitorio, es posible conocer la formación de los tapones y su localización en cada momento a lo largo de la línea, por lo que se pueden prevenir y controlar sus efectos, ajustando el diseño para que no se formen o, si no es posible evitarlos, tomar medidas para minimizar su efecto, como el uso y dimensionamiento de dispositivos que atrapen los tapones y eviten que golpeen.



Flujo tapón, IMP 2006



Flujo Tapón, IMP 2006

Principales ventajas al introducir la variable “tiempo”

El introducir la variable tiempo al análisis del sistema permite implementar las siguientes aplicaciones:

- Simular el paro y arranque programado de las líneas y sus efectos, a través de la vida operativa del sistema.
- Simulación del flujo tapón a través de las líneas.
- Simulación de la formación de restricciones orgánicas e inorgánicas en las tuberías, causas y efectos.
- Simulación de todo el proceso, incluyendo los sistemas de inspección y control.

Las 3 etapas a seguir para hacer una simulación en régimen transitorio son:

1. Obtención de un estado pseudo-estacionario: en el que se establece que la variación de las propiedades del sistema es igual en todos los puntos de análisis.
2. Provocar una perturbación en el sistema: para tener una variación en el comportamiento del flujo.
3. Simular el comportamiento del sistema después de la perturbación: para analizar los cambios que tuvieron lugar en los diferentes puntos de análisis a través del tiempo después de haber perturbado el sistema pseudo-estacionario.

Entre los diferentes casos que pueden simularse utilizando el análisis en régimen transitorio, se encuentran:

- Efecto del modelo de transferencia de calor en el cálculo de la temperatura.
- Efecto de la presión en el comportamiento de una línea multifásica.
- Simulación de pozos fluyentes.
- Simulación de una red de recolección de hidrocarburos.
- Simulación de un pozo con bombeo neumático continuo.
- Simulación de escenarios de paro y arranque para líneas de transporte de crudo pesado.
- Simulación de una línea de gas y condensado. Simulación de una corrida de limpieza.

De cualquier forma, los simuladores actuales todavía presentan algunas limitaciones, como son:

- Las propiedades de los fluidos varían únicamente en función de la presión y la temperatura, manteniéndose constantes en espacio y tiempo, por lo que se presentan dificultades en sistemas donde se presentan cambios importantes en la composición total.

- Las limitaciones inherentes de los métodos numéricos empleados para la resolución de ecuaciones solo hacen posible simular con exactitud fenómenos transitorios lentos como los ocasionados por los cambios en el flujo o en la temperatura, mientras que para los fenómenos transitorios rápidos como los cambios de presión solo se pueden simular de forma limitada y de manera condicional.

REFERENCIAS

Taller sobre simulación en régimen transitorio con el simulador *OLGA 2000*, Taller impartido a alumnos del Posgrado del Instituto Mexicano del Petróleo, IMP, 2006.