

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE DENSIDAD EN EL SENO DE UN DENSÍMETRO DE TUBO VIBRANTE MEDIANTE SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS CON INTERACCIÓN FLUIDO – ESTRUCTURA; CASO DEL ETANO EN LA REGIÓN CRÍTICA

R. P. Mendo, C. Bouchot* y B. S. Noyola
Instituto Politécnico Nacional
ESIQIE, UPALM, Zacatenco. C.P. 07738, México D.F.
* Contacto: cbouchot@ipn.mx

Resumen: Se establecen metodologías para analizar el comportamiento dinámico de un fluido colocado en un densímetro de tubo vibrante. El objetivo es aportar información sobre errores sistemáticos observados en mediciones alrededor del punto crítico gas – líquido, con base en mediciones disponibles para el etano. La metodología utiliza modelado por elemento finito con interacción fluido – estructura. Se hallaron flujos inducidos, en el fluido, por el movimiento del tubo y fluctuaciones en los campos de presión y densidad correlacionados en la ecuación de estado. Se presentan las primeras cuantificaciones de esas fluctuaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los métodos experimentales para medir la densidad se encuentra el Densímetro de Tubo vibrante, DTV que proporciona rapidez y precisión en la medición de densidad. Los modelos de calibración actuales presentan resultados satisfactorios en líquidos a alta presión [1].

La determinación de densidades con el DTV presenta, en los casos de vapores y gases a baja presión y gas en la región crítica, mayores incertidumbres con respecto a métodos primarios basados en el principio de Arquímedes [2]. Esas incertidumbres se relacionan con mayores tiempos de estabilidad del periodo de vibración a T y P fijas [3]. En regiones críticas se observan desviaciones hasta 0.5% en densidad en comparación con datos reportados en la literatura [4].

Se tienen modelos de medición y calibración para los DTV, que producen resultados precisos para líquidos poco viscosos. El problema con gases críticos o diluidos se puede relacionar con la precisión de las mediciones de T o P, pero esas imprecisiones no explican totalmente la magnitud de los errores. Otras hipótesis han sido avanzadas, por ejemplo, posibles variaciones en la inercia del tubo debido a gradientes de densidad dentro del DTV [5, 6], que implicaría que el modelo masa resorte tradicional tenga limitaciones.

De allí surge la necesidad de implementar metodologías que permitan analizar cambios en el funcionamiento “normal” del DTV, con ciertos fluidos colocados en su interior, y cuantificar el error que esos introducen en la determinación de la densidad. Los DTV son hechos con tubos diminutos que no permiten ni estudios visuales ni directos de lo que

sucede adentro. Por eso se plantea realizar estudios, basados en simulación matemática, que reproduzcan los fenómenos involucrados en la interacción entre el fluido y la estructura del DTV.

2. DESARROLLO DE LAS SIMULACIONES

Aprovechando las herramientas disponibles de análisis por elemento finito (ELMER), se implementaron simulaciones de tipo “multifísica” (Elasticidad lineal + Dinámica de fluidos). Para tomar en cuenta la interacción fluido – estructura en el DTV, se establece que la estructura (tubo) sigue la Ley de Hooke para elasticidad lineal. El comportamiento del fluido se representa por medio de las ecuaciones de Navier - Stokes. El esfuerzo dentro del tubo está ejercido por la presión en el fluido a nivel de la interfaz y sirve de acoplamiento al igual que la velocidad de la estructura funge como condición frontera para las ecuaciones de Navier – Stokes a la interfaz.

Se realizaron dos tipos de simulaciones, estática y dinámica. En la simulación estática el DTV contiene un mallado coherente a la interfaz para el fluido en su interior. La deformación obtenida en el tubo es similar a la de estudios anteriores donde se obtenía por medio de la aplicación de un esfuerzo superficial efectivo en el interior del tubo [7]. Para la simulación dinámica del DTV vacío se llevó a cabo un ajuste de las propiedades físicas del material de los aditamentos del tubo para representar los datos experimentales del periodo de vibración a vacío. Las propiedades físicas del tubo no fueron modificadas y se tomaron de [7].

La simulación de la vibración del tubo se basa sobre en la estructura deformada por la presión interna y

con un mallado representativo de un fluido en su interior. Se aplica una condición frontera sinusoidal sobre el mallado del tubo que induce un movimiento armónico periódico de frecuencia conocida a nivel experimental. La amplitud de vibración se mantiene constante en las simulaciones como en los experimentos reales en el DTV DMA 512P de Anton Paar disponible.

3. RESULTADOS y DISCUSIÓN

La información obtenida de las simulaciones incluye la deformación de la estructura debido al movimiento del tubo, a la presión interna y a la dilatación térmica. Se hallaron evidencias de fluctuaciones significativas en los campos de presión, densidad y velocidad en ciertas circunstancias. Para el caso del etano crítico, donde la presión y la densidad están relacionados por la ecuación de estado de referencia actual [7], se pueden visualizar variaciones en la distribución de densidad respecto al valor nominal que corresponde a las condiciones de T y P definidas, del orden de varias unidades en kg/m^3 . Por ejemplo, a 48.72 bar y 32.19 °C la densidad nominal es de 189.25 kg/m^3 y La Figura 1 muestra contornos marcados de fluctuación respecto a ese valor, para diversos tiempos de simulación.

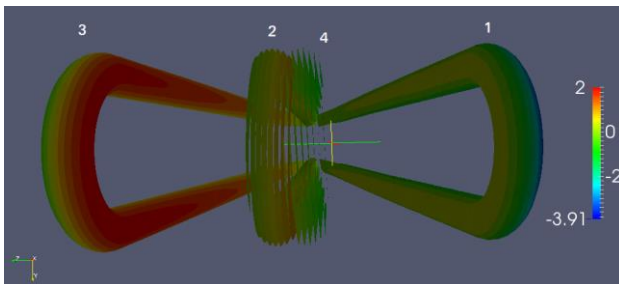


Fig. 1. Iso-contornos de fluctuación en densidad del etano crítico. Desplazamientos aumentados 50 veces.

Se obtuvieron variaciones de la densidad en el dominio fluido con intervalos de hasta $\pm 2.4 \text{ kg/m}^3$ capaces de modificar sensiblemente la inercia del sistema vibrante. Para poder cuantificar ese efecto, se elaboran gráficos de la distribución global de los datos de densidad obtenidos a lo largo del tubo a diversos tiempos dentro de un periodo de vibración del tubo. La Figura 2 muestra claramente cómo cambia la distribución de densidad global en el tiempo durante el movimiento del tubo.

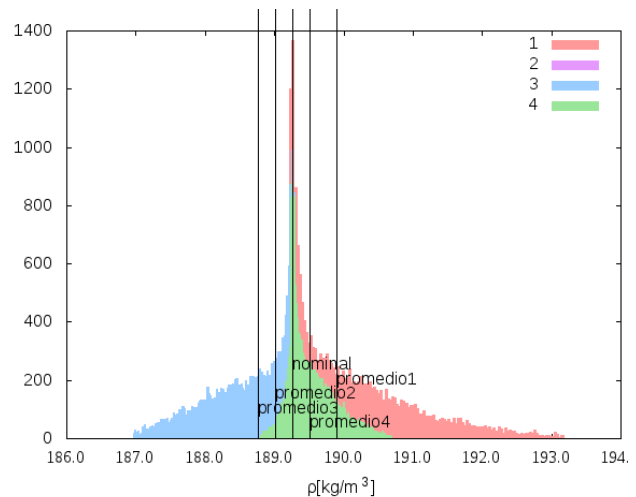


Fig. 2. Histogramas de la densidad en el etano crítico a diferentes tiempos espaciados por 0.001 s en la simulación.

4. CONCLUSIONES

Simulaciones multi-físicas muestran distribuciones no uniformes de la densidad en el interior de un DTV lleno con etano crítico. Existen fluctuaciones de densidad capaces de modificar la inercia del sistema e introducir un error sistemático en la medición de densidad. Se aporta una nueva perspectiva sobre la problemática del incremento de la incertidumbre en mediciones de la densidad en la cercanía de un punto crítico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo aportado a este estudio por parte del IPN y del CONACyT. Se agradece a los desarrolladores de software libre GNU/Linux, Elmer, Salomé-Meca, Python, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] C. Bouchot, et al. Simposio de Metrología, CENAM, 2010, SM2010-Car-22, 1 – 8.
- [2] M. Funke, et al. J. Chem. Thermodynamics, 2002, 34, 2017–2039
- [3] R. Laznickova, H. Huemer. Meas. Sci. Technol., 1998, 9, 719-733.
- [4] C. Coquelet et al. J. Chem. Eng. Data. 2010, 55, 2093-2099.
- [5] B. S. Noyola. Tesis de Maestría, IPN, ESIQIE IPN. 2012.
- [6] C. Bouchot. Tesis de Doctorado. ENSMP, Fr., 1995.
- [7] Daniel G. Friend et al. J. Phys. Chem. Ref. Data, 1991, 20, 275-.