

## Resumen

El estudio y modelado de flujos bifásicos, incluso los más simples como el *bubbly flow*, sigue siendo un reto que conlleva aproximarse a los fenómenos físicos que lo rigen desde diferentes niveles de resolución espacial y temporal. El uso de códigos CFD (*Computational Fluid Dynamics*) como herramienta de modelado está muy extendida y resulta prometedora, pero hoy por hoy, no existe una única aproximación o técnica de resolución que permita predecir la dinámica de estos sistemas en los diferentes niveles de resolución, y que ofrezca suficiente precisión en sus resultados. La dificultad intrínseca de los fenómenos que allí ocurren, sobre todo los ligados a la interfase entre ambas fases, hace que los códigos de bajo o medio nivel de resolución, como pueden ser los códigos de sistema (RELAP, TRACE, etc.) o los basados en aproximaciones 3D TFM (*Two-Fluid Model*) tengan serios problemas para ofrecer resultados aceptables, a no ser que se trate de escenarios muy conocidos y se busquen resultados globales. En cambio, códigos basados en alto nivel de resolución, como los que utilizan VOF (*Volume Of Fluid*), requieren de un esfuerzo computacional tan elevado que no pueden ser aplicados a sistemas complejos.

En esta tesis, mediante el uso de la librería OpenFOAM se ha creado un marco de simulación de código abierto para analizar los escenarios desde niveles de resolución de microescala a macroescala, analizando las diferentes aproximaciones, así como la información que es necesaria aportar en cada una de ellas, para el estudio del régimen de bubbly flow. En la primera parte se estudia la dinámica de burbujas individuales a un alto nivel de resolución mediante el uso del método VOF. Esta técnica ha permitido obtener resultados precisos como la formación de la burbuja, velocidad terminal, camino recorrido, estela producida por la burbuja e inestabilidades que produce en su camino. Pero esta aproximación resulta inviable para entornos reales con la participación de más de unas pocas decenas de burbujas. Como alternativa, se propone el uso de técnicas CFD-DEM (*Discrete Element Methods*) en la que se representa a las burbujas como partículas discretas. En esta tesis se ha desarrollado un nuevo solver para bubbly flow en el que se han añadido un gran número de nuevos modelos, como los necesarios para contemplar los choques entre burbujas o con las paredes, la turbulencia, la velocidad vista por las burbujas, la distribución del intercambio de momento y masas con el fluido en las diferentes celdas por cada una de las burbujas o los modelos o la expansión de la fase gaseosa entre otros. Pero también se ha tenido que incluir nuevos algoritmos como el necesario para inyectar de forma adecuada la fase gaseosa en el sistema. Este nuevo solver ofrece resultados con un nivel de resolución superior a los desarrollados hasta a fecha.

Siguiendo con la reducción del nivel de resolución, y por tanto los recursos computacionales necesarios, se efectúa el desarrollo de un solver tridimensional de TFM en el que se ha implementado el método QMOM (Quadrature Method Of Moments) para resolver la ecuación de balance poblacional. El solver se desarrolla con los mismos modelos de cierre que el CFD-DEM para analizar los efectos relacionados con la pérdida de información debido al promediado de las ecuaciones instantáneas de Navier-Stokes. El análisis de resultados de CFD-DEM permite determinar las discrepancias encontradas por considerar los valores promediados

---

y el flujo homogéneo de los modelos clásicos de TFM. Por último, como aproximación de nivel de resolución más bajo, se investiga el uso de códigos de sistema, utilizando el código RELAP5/MOD3 para analizar el modelado del flujo en condiciones de *bubbly flow*. El código es modificado para reproducir correctamente el flujo bifásico en tuberías verticales, comparando el comportamiento de aproximaciones para el cálculo del término de drag basadas en velocidad de drift o del coeficiente de drag.

En esta tesis, sin embargo, no sólo ha sido necesario desarrollar solvers para las diferentes aproximaciones. Ha sido imprescindible adquirir un conocimiento muy profundo de los fenómenos que ocurren y la comprensión e interpretación de los resultados experimentales que se obtienen desde los experimentos reales de *bubbly flow*. En la tesis se ha dedicado mucho esfuerzo a analizar con detalle los fenómenos físicos, y se ha tenido que desarrollar un sistema virtual de medida que coincide con el experimental, creando una señal equivalente a la que ofrece el equipo experimental del laboratorio, y que ha sido procesado con el mismo software que éste. Así, los resultados obtenidos por el equipo y la simulación son totalmente comparables. Se han tomado resultados experimentales de varios autores para validar de forma muy rigurosa los resultados obtenidos en las diferentes aproximaciones, comparando todos los parámetros disponibles en el experimento, y analizando aquellos que no ofrecían las publicaciones.