

SINOPSIS

El flujo anular es uno de los regímenes de flujo bifásico más importantes y se caracteriza por que una fracción de líquido muy pequeña conocida como película de líquido que viaja cerca de la pared y un núcleo gaseoso. El flujo anular se puede observar durante la operación de plantas nucleares y en diferentes escenarios transitorios, aunque también en muchas otras aplicaciones industriales. La película de líquido es determinante en muchas de ellas ya que posee una alta capacidad de transferencia de masa, momento y energía. Parte de estas propiedades se deben a que la película presenta un comportamiento interfacial no lineal con desarrollo de ondas interfaciales. Además, en determinadas instalaciones donde se la película de líquido actúa como refrigerante, es esencial conocer su comportamiento tanto por motivos de optimización como por razones de seguridad.

Para estudiar los fundamentos del comportamiento de la película de líquido se han llevado a cabo una serie de experimentos en una instalación diseñada para generar flujo anular aire-agua en tubería circular vertical. En esta instalación se ha medido la evolución temporal del espesor de la película de líquido bajo diferentes condiciones y subregímenes, como flujo en caída libre o flujo en cocorriente ascendente y descendente. El sistema de medida empleado se ha diseñado y construido para esta aplicación y consiste en sondas de conductancia de 3 electrodos rasantes a la pared y dispuestas en diferentes partes de la sección de test. Tanto el sistema electrónico como el dispositivo de calibración se diseñaron específicamente para trabajar con estas sondas de conductancia. La instalación cuenta con dos diámetros diferentes para poder comparar también el efecto del diámetro de la tubería así como aumentar el rango de medidas disponibles en bases de datos.

Una de las características más particulares de la película de líquido son sus ondas interfaciales. Las principales ondas que se pueden diferenciar son las *disturbance waves*, ondas coherentes de gran calibre; y las *ripple waves*, ondas de pequeño tamaño, no coherentes que se generan constantemente antes de desaparecer al ser absorbidas por otras ondas. Las variables principales de la película de líquido que se han analizado en la instalación experimental son el espesor medio, la altura y frecuencia de las *disturbance waves*, la altura de las *ripple waves* y la altura de líquido no perturbado. Se han llevado a cabo diferentes estudios experimentales con objeto de añadir un valor adicional a las medidas. Para flujo anular descendente se ha estudiado el desarrollo de la película a través de diferentes zonas de medida y se han comparado las secciones de test de diferente diámetro. Además, múltiples correlaciones se han propuesto y los resultados se han comparado con estudios similares de otros autores. Para el análisis del flujo anular ascendente, se ha añadido un estudio del efecto de la

tensión superficial en las variables de la película de líquido mediante la adición de pequeñas cantidades de 1-butanol.

Es objeto de esta tesis también la modelación del flujo anular mediante análisis numérico. Los códigos de fluidodinámica computacional (CFD) son herramientas computacionales que permiten analizar el comportamiento de los fluidos. Han experimentado una fuerte evolución a lo largo de los últimos años gracias a los avances tecnológicos y los resultados que se obtienen de su correcta utilización son muy prometedores. No obstante, el flujo multifásico sigue siendo difícil de modelar y es necesario contrastar las predicciones de los códigos CFD con medidas experimentales. Por lo tanto, la fenomenología de flujo anular desarrollado se ha estudiado también mediante el código ANSYS CFX. Existe un importante vacío de conocimiento en la cuantificación de la incertidumbre de dichos códigos CFD. Si bien existen algunas metodologías para ello, muchas se encuentran en etapas tempranas o no hay sido exploradas por los investigadores. Todas las aplicaciones de los códigos CFD en el área de seguridad nuclear requieren de un extensivo conocimiento de la incertidumbre de las predicciones por lo que el desarrollo de estas metodologías es muy importante. En esta tesis se muestran los fundamentos del Polynomial Chaos Expansion (PCE) como método para calcular la incertidumbre de los resultados de simulación mediante propagación. El PCE por cuadratura de Gauss-Hermite se ha aplicado a las simulaciones de dos experimentos. Por un lado en la instalación experimental de esta tesis y por otro lado a un benchmark internacional relacionado con seguridad nuclear. Este método ha resultado ser muy eficiente cuando el número de variables inciertas es muy reducido.