

# DISEÑO DE SISTEMA SIMULADOR FÍSICO DE FLUJO MULTIFÁSICO PARA REPRODUCIR CONDICIONES DE FLUJO SEMEJANTES A LAS REALES

Ing. José Luis García Montejo<sup>1</sup>.

**Resumen**— Presentar una propuesta para el desarrollo de un simulador físico de flujo multifásico agua-aire que recree el régimen de flujo dentro de tubería, la finalidad es tener un equipo capaz de reproducir el flujo multifásico que viaja por la tubería. Los regímenes de flujo están catalogados y clasificados de acuerdo a la fase de la sustancia velocidad y presión, se propone desarrollar un carrete mezclador que simule un régimen tipo burbuja y uno anular. El diseño virtual del simulador físico aprovecha las ventajas que tienen el uso del CAM y el CAE a través de la herramienta CFD (Dinámica de fluidos computacional). Su alcance es brindar una herramienta útil para pruebas experimentales, desarrollo de investigación y transferencia de conocimientos aplicables en nuestro país, en materia de medición, dinámica de fluidos, adquisición de datos, entre otros.

**Palabras clave**— flujos multifásico, simulador físico, régimen de flujo, CFD.

## Introducción

Durante la vida productiva de un yacimiento petrolífero los productos que se extraen son en tres estados físicos de agregación y varían proporcionalmente a lo largo de su vida, durante el transporte a través de la tubería se producen diversos fenómenos en el fluido multifásico que afectan en la medición de fluidos. Se aplican diversas técnicas para la medición de flujo multifásico y se encuentran en desarrollo nuevas y mejores. El reto en la metrología es poder crear dispositivos con mayor precisión y menor grado de incertidumbre. En México se utilizan medidores a boca de pozo, donde se monitorea en tiempo real la producción del yacimiento, estos medidores actualmente son costosos y su incertidumbre es mayor respecto a los medidores de una sola fase. El aporte de este desarrollo es aumentar el interés de la medición multifásico experimental, y desarrollo de nuevas propuestas en México, ya que nuestro país adquiere tecnología extranjera para medición de flujo multifásico, mientras que los países que lo desarrollan, costean sus nuevos desarrollos de medidores, por medio de sus anteriores patentes ya comercializadas.

## Conceptos Básicos

### *Flujo multifásico*

El flujo multifásico se refiere al flujo de fluido de más de una fase o componentes, no considerando aquellas que están mezcladas a nivel molecular, por lo tanto, referirse a flujos de gas / sólidos, o flujos de líquido / sólidos, etc.

### *Regímenes de Flujo*

La topología del flujo multifásico clasifica a la geometría de los componentes en patrones de flujo o régimen de flujo, reconocidos visualmente dentro de la tubería, aunque se puede analizar de acuerdo a las presiones, el volumen, la velocidad de la sustancia, densidad, viscosidad y tensión superficial.

Existe un esquema de régimen de flujo para determinar el tipo de flujos de mezclas de gas y líquido en horizontal y tubos verticales. El mapa de patrones de flujo mayormente conocido es el horizontal de gas / líquido creado por Baker (1954), figura 1. Los límites entre los patrones de flujo se producen cuando se vuelve inestable y el crecimiento de esta provoca la transición a otro patrón de flujo. (Christopher E. Brennen, 2005)

### *Simulación CFD*

La dinámica de fluidos computacional se ha desarrollado ampliamente para mejorar el proceso de diseño que ocupe del flujo de fluidos. El método se basa en discretizar el área de flujo tridimensional y solucionar por ecuaciones de Euler flujos no viscosos. Usando ecuaciones de Navier-Stokes, se solucionan flujos viscosos. El CFD ha evolucionado en modelos de tercera dimensión, por lo que aumenta la cantidad de datos y las visualizaciones gráficas proporcionan muchos datos para reflexión. (John D. Anderson, Jr., 1995)

### *Retos de la simulación multifásica*

Las dificultades que presenta el flujo multifásico son la longitud de la tubería y la rugosidad interna. Es posible que algunos regímenes de flujo cambien por la distancia de tubo. En consecuencia, los patrones de flujo ocurren solo en secciones limitadas. El desafío es mantener patrones de flujo multifásico estables, en una sección de tubería estrecha.

<sup>1</sup> Jose Luis Garcia Montejo es ingeniero especializado del área de medición e instrumentación en CIATEQ A, Villahermosa, Tabasco. [jose.garcia@ciateq.mx](mailto:jose.garcia@ciateq.mx)

*Retos de construcción*

Realizando una comparativa de velocidad media de un flujo multifásico, se establece que tubería de PVC 2” que permite alcanzar flujos de velocidad como modelo, rentable en costos y viable en generación del fenómeno multifásico por la viscosidad del agua y la rugosidad del PVC. Para el desarrollo de casos de estudio, la propuesta sugiere control de la cantidad de agua y gas que se introduce a los mezcladores de flujo. Es posible añadir accesorios adicionales a los carretes simuladores de regímenes de flujo.



Figura 1. Topología de régimen de flujo horizontal, y esquema de gas / líquido de Baker.

**Delimitantes de Diseño**

*Inestabilidad Kelvin-Helmholtz*

Los regímenes de flujo horizontal pueden volverse inestables cuando se forman ondas en la interfaz entre las dos corrientes de fluido denominados inestabilidades de Kelvin-Helmholtz (Christopher E. Brennen, 2005). Debido a que las densidades de los fluidos y las velocidades provocan una transición de uno a otro régimen de flujo, inicialmente de un flujo estratificado asciende a taponos o babosas. Por lo tanto, en el límite del régimen de flujo es analizando el crecimiento de las ondas interfaces  $\lambda$ , como se muestra en la figura 2.

La inestabilidad se origina por la interacción entre al menos dos de tres tipos de fuerzas: la flotación debido a la gravedad y la diferencia de densidades de los dos fluidos.

Esto se puede caracterizar por  $g\ell^3\Delta\rho$  donde  $\Delta\rho = \rho_1 + \rho_2$ ,  $g$  es la aceleración de gravedad y  $\ell$  es una dimensión media de las olas, esto aplica en flujos horizontales, porque el fluido superior es el más ligero que el inferior, cuando ocurre lo contrario la fuerza de flotación es desestabilizadora y causa inestabilidad de Rayleigh-Taylor.

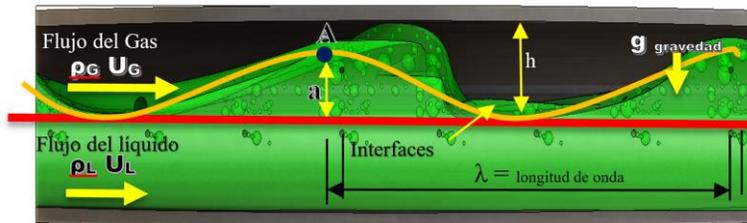


Figura 2. Esquema de inestabilidad de flujo.

**Diseño de los carretes simuladores multifásico**

*Generador del Régimen Burbujas*

El flujo de fluido multifásico de tipo burbujas está caracterizado por la distribución de la fase gaseosa como burbujas inmerso en la fase líquida. Mientras las burbujas se aglomeran y se combinan forman una distribución menos homogénea de la fase gas (NMX-Z-055-IMNC-2009).

El simulador de régimen tipo burbujas se propone de un carrete (sección de tubo entre bridas) con 12 perforaciones distribuidas a lo largo del diámetro y conectores neumáticos de 1/4” de pulgada de diámetro, unidos a través de tubería hacia un generador de burbujas. Para el control de flujo, mientras que en la tubería aguas arriba fluye agua, se ubica en la parte superior un sensor de presión del agua lo que permitirá regular la presión de aire que inyectará al generador de burbujas. El control de flujo evitara el contraflujo y que, durante la experimentación de casos de estudio, los elementos de restricción aguas abajo afecten al generador de flujo burbujas. El diseño se observa en la figura 3.

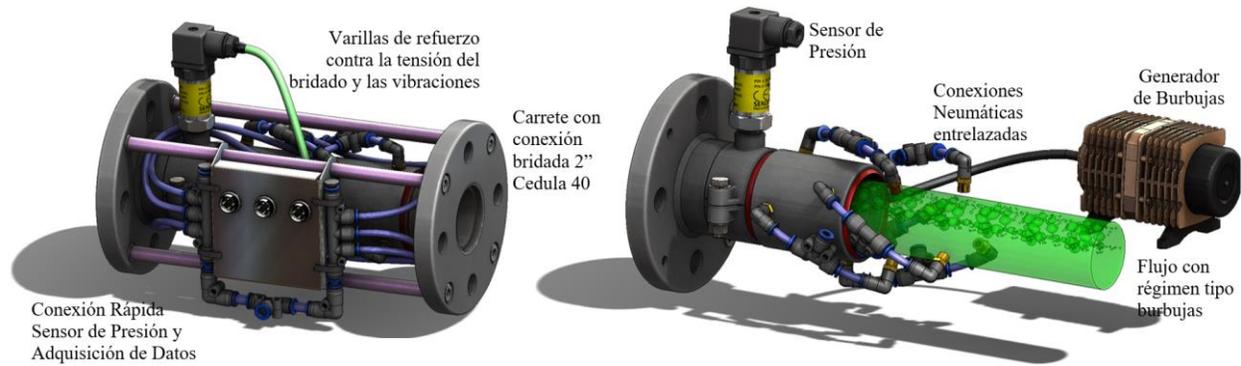


Figura 3. Diseño propuesto del carrete simulador de flujo de régimen burbujas.

Mediante el modelo CFD, es posible determinar que el diseño permite mantener suspendidas las partículas de aire dentro de un flujo de agua; siempre y cuando que la velocidad del líquido supere la velocidad que la flotabilidad y así las partículas no se aglomeran con facilidad. Debido a que el contacto de líquido por las paredes es menor, la densidad baja y se ve ligero aumento del caudal. El límite de inestabilidad es muy bajo, aun cuando aumente la generación de partículas arrastradas por el fluido, los resultados se muestran en la figura 4.

El costo aproximado de este ensamble es de \$ 3 856.00, y representa total de los precios de los elementos que se observan en el diseño, los costos son artículos comerciales de la red.

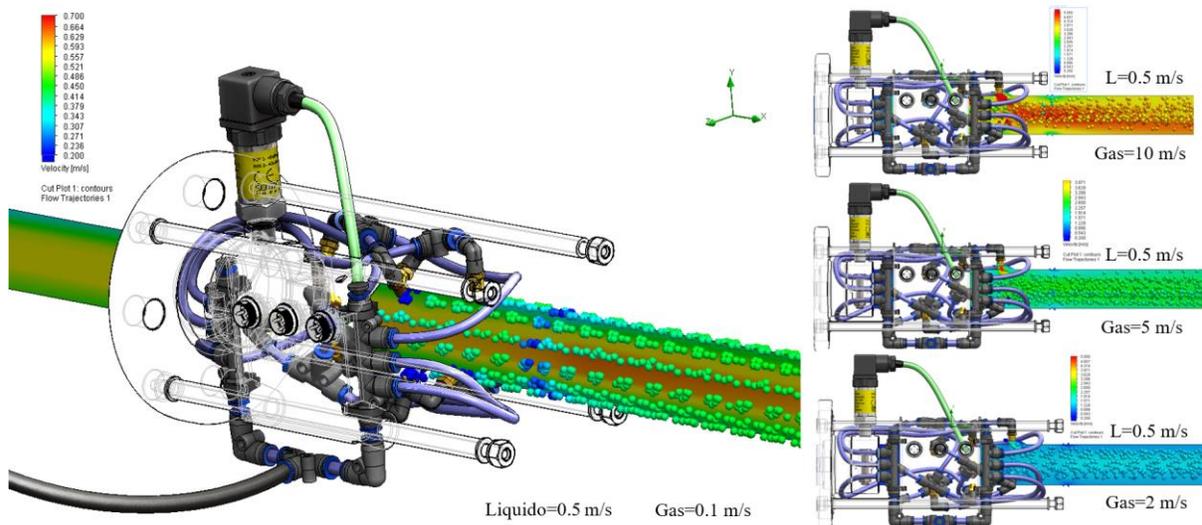


Figura 4. Simulación del flujo para una condición inicial de 0.5 m/s agua.

Al aumentar la velocidad del gas no se acerca a los límites de transición de régimen, aumenta la mezcla homogénea, y la distribución de las burbujas es mayor hacia el centro. Se espera que mediante la fabricación y puesta de operación se determinen los límites de trabajo en función de los equipos utilizados.

#### Generador del Régimen Anular

El régimen de flujo de tipo anular se caracteriza debido a que el fluido menos denso fluye en el centro de la tubería y el fluido más pesado está contenido en la pared de la tubería. El flujo anular ocurre a altas velocidades del fluido ligero como se observa en el esquema de regímenes de Baker. Cuando la interfaz entre los fluidos es irregular puede ocurrir el flujo anular ondulado (NMX-Z-055-IMNC-2009).

El simulador de régimen anular se propone de un carrete entre bridas, en el interior se centra un cono que restringe el flujo de agua a hacia las paredes de la tubería, el cono tiene una nariz tubular alargada que sale por un costado del carrete para permitir la entrada de aire. En el extremo final del cono se produce un fenómeno de caída de presión que con ayuda de tres insertos de tubería de acero se envía aire con velocidad mayor al del agua. Esta fuerza

central de aire permite sustentar el agua en las paredes de la tubería correspondiente al flujo anular, en la figura 5 se muestran las partes internas y la presentación final del simulador.

Se añade una electroválvula en la entrada de aire del cono, seguido de un caudalímetro. Su función es el control de contraflujos y muestreo del caudal de aire.

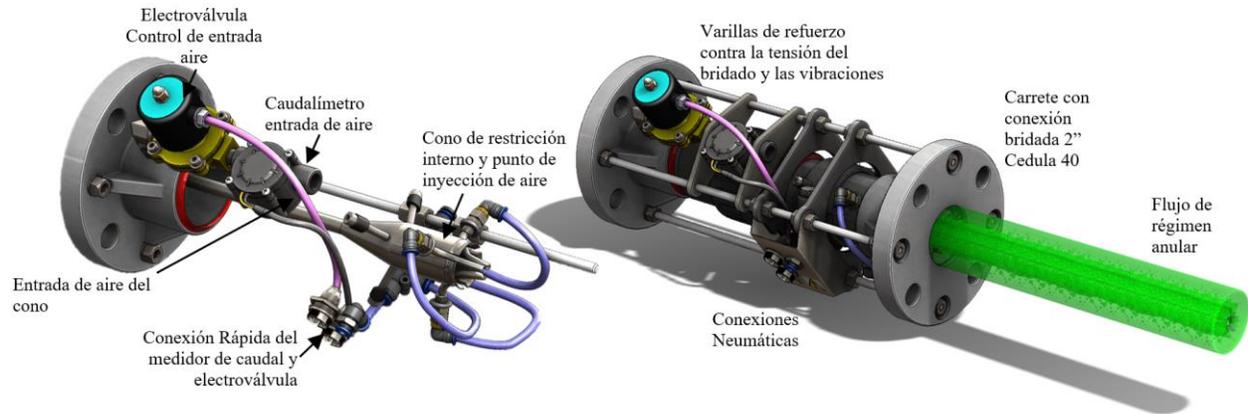


Figura 5. Diseño propuesto del carrito simulador de flujo de régimen anular.

A través del CFD, se modela el flujo de líquido y gas dentro carrete, la entrada de líquido es de 5 m/s y 6 m/s para aire; en la sección de descarga de la tubería y la entrada de la nariz del cono se modelaron a condiciones atmosféricas, con el fin de ver la caída de presión dentro del cono y la demanda de aire hacia el interior, mostrado en la figura 6.

El costo aproximado de este ensamble es de \$ 3 521.00, y es con base a elementos y precios encontrados de la red.

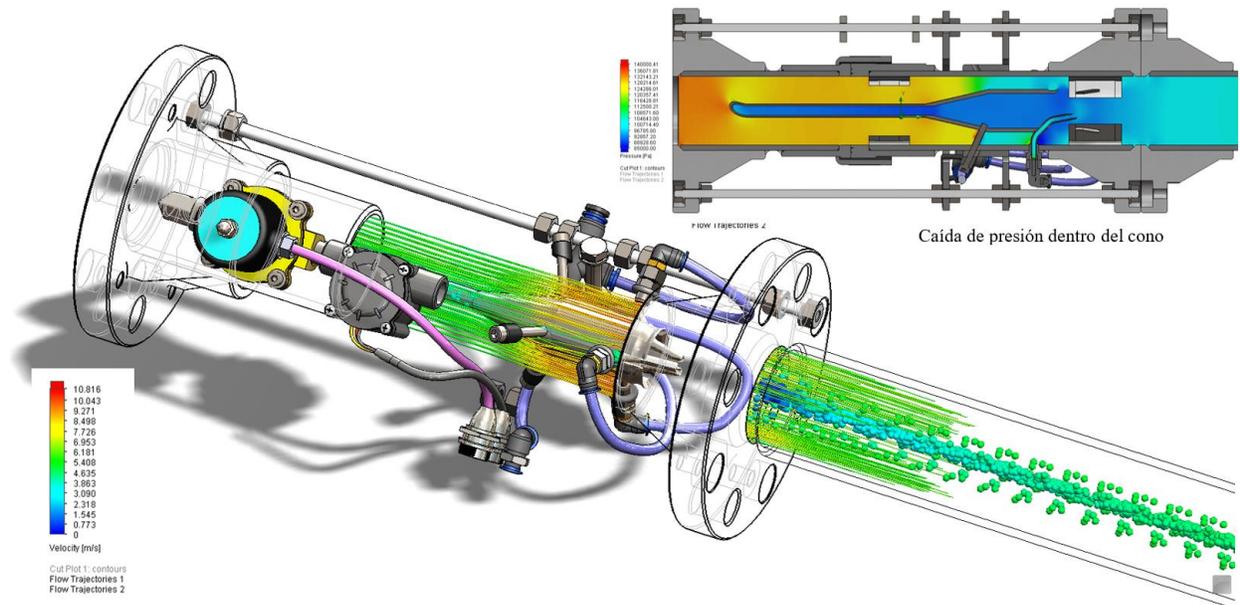


Figura 6. Simulación del flujo anular para una condición inicial de 5 m/s agua y 6 m/s aire en el núcleo.

Se observa en la figura 7 como el líquido se mantiene “adherido” en las paredes de la tubería por la tensión superficial, por otra parte, que el flujo de aire fluye con mayor velocidad en el núcleo, en la vista frontal y lateral se distinguen por esferas y líneas la distribución respectiva de las sustancias de la mezcla.

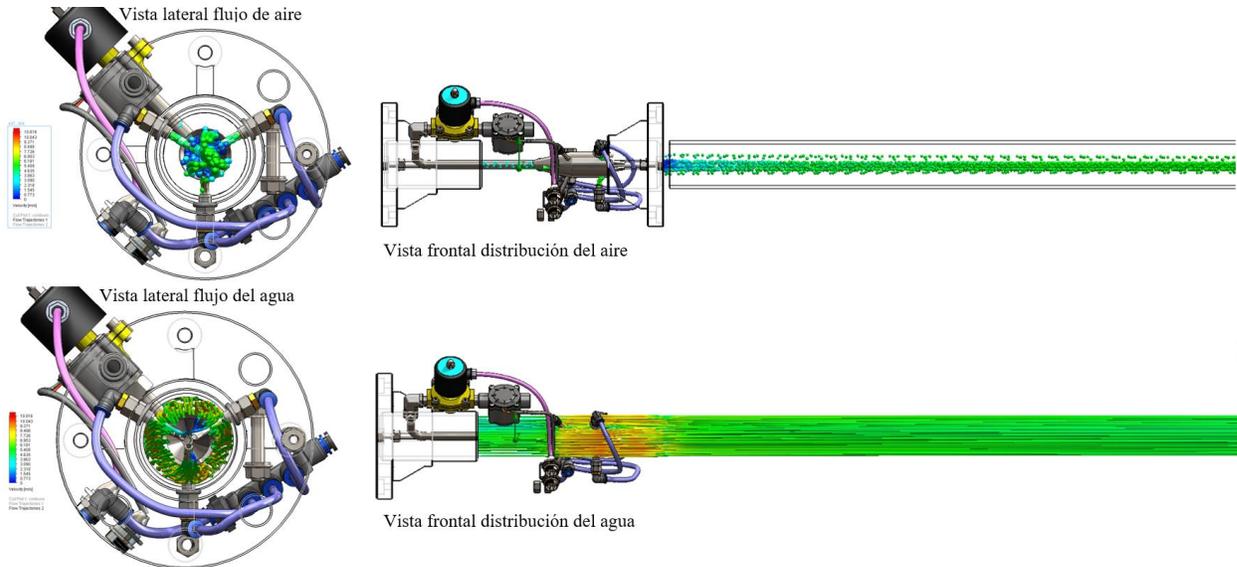


Figura 7. Distribución anular del líquido y gas dentro de la tubería.

*Casos de estudio*

El simulador permitirá a los usuarios realizar dispositivos de medición experimental de 2" diámetro, con el fin de estudiar los efectos que ocasionan los flujos multifásico en los sistemas de medición de flujo.

Elaboración de dispositivos experimentales de medición no intrusivos, para identificar la proporción, régimen y o velocidad de las sustancias.

Diseñar dispositivos que eliminen la mayor cantidad de perturbaciones previo a la medición de flujo, y delimitar sus alcances, en cuanto al arreglo de la tubería, la presión y la velocidad de las sustancias.

Caracterizar medidores en presencia de un solo régimen de flujo, establecer modelos matemáticos y las estrategias para reducir el impacto en la incertidumbre de las mediciones.

De modo más simple para ilustrar los fenómenos de la medición multifásico en presentaciones académicas, figura 8.

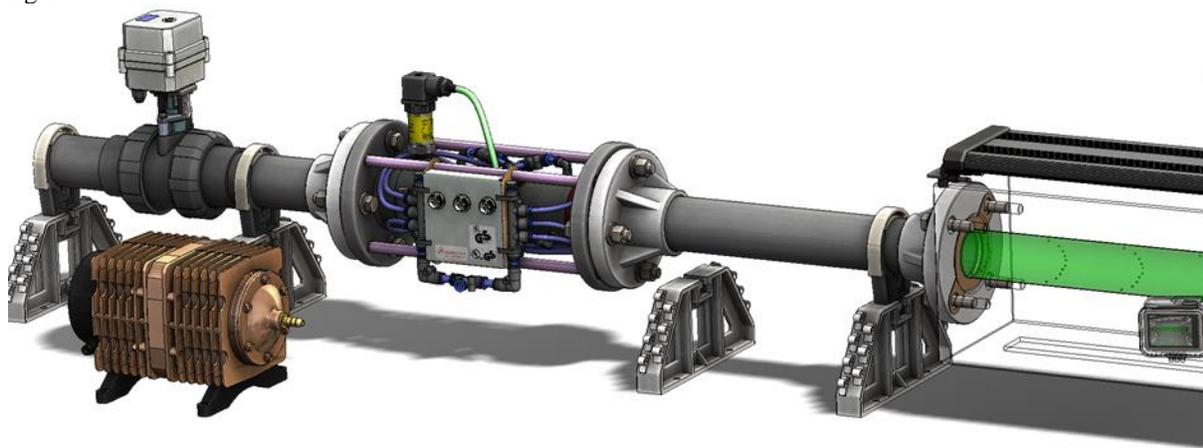


Figura 8. Propuesta final del simulador multifásico en conjunto con accesorios.

**Comentarios Finales**

La propuesta presentada se realizó de materiales comerciales, los costos indicados corresponden a los publicadas por las páginas de vendedores, se consideraron en su selección las características de operación de los elementos como propuesta real de construcción. Las consideraciones de ensamblaje es que sea un diseño practico de armar, con uniones de bridas en PVC para encolar, la presentación de la propuesta no muestra esquemas eléctricos y

programación de control debido a que no generan relevancia mayor que la propuesta de diseño virtual de los carretes que simulan el flujo multifásico.

### *Conclusiones*

La propuesta mostrada, es el resultado del análisis de diseño de construcción y pruebas de flujo virtual, las ilustraciones corresponden a los diseños que mejor proporcionan control de los regímenes de flujo tipo burbuja y anular desde el modelado en CAM acompañado de los resultados en CFD. Es posible perfeccionar a través del prototipo detalles de menor impacto, mediante los carretes mezcladores se permitirá tener el control de los flujos y el caudal que se añaden a la mezclar. El diseño cumple en la simulación, en costos y reduce el tiempo la fabricación, y perdida por fallas de pruebas. Se espera que los límites reales de operación en su fabricación alcancen las expectativas virtuales de diseño antes de llegar a los límites de transición de los regímenes.

### **Referencias**

Christopher E. Brennen. " Fundamentals of Multiphase Flows" *California Institute of Technology, Pasadena, California, Cambridge University Press 2005*, ISBN 0521 848040  
John D. Anderson, Jr. " Computational Fluid Dynamics," *Department of Aerospace Engineering University of Maryland, McGraw-Hill, Inc. International Editions 1995*, ISBN 0-07-113210-4  
NMX-Z-055-IMNC-2009 "Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, temimos asociados (VIM).

### **Notas Biográficas**

El **Ing. Jose Luis Garcia Montejo**. Ingeniero Técnico en CIATEQ A.C en la dirección de Sistemas de Medición en Villahermosa Tabasco. terminó sus estudios de posgrado en el Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, Tabasco, cuenta con 5 años de experiencia en la evaluación normativa de sistemas de Medición de Hidrocarburos, tanto líquidos como gas, en el área de electrónica. Actualmente cursando el posgrado de Maestría en Manufactura Avanzada impartida en las instalaciones académicas de CIATEQ Tabasco.