



Simulations of pipe flows of Bingham fluids using Newtonian-based low-Reynolds turbulence models

J.I. Soto^{1,2}, W. Brevis¹ and G.V. Messa²

¹ Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental – Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860 – Santiago – CHILE
e-mail : jisoto8@uc.cl, wbrevis@uc.cl

² Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Politecnico di Milano
Piazza Leonardo da Vinci 32 – Milano – ITALIA
e-mail : gianandreavittorio.messa@polimi.it

ABSTRACT

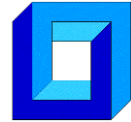
This study simulates turbulent pipe flows of Bingham fluids using Newtonian-based Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) equations with three low Reynolds turbulence models: the Lam-Bremhorst $k-\varepsilon$ (LB) model, the Two-layer $k-\varepsilon$ (2L) model, and the $k-\omega$ SST (SST) model. Although the presented approach is not proper for fluids that require decomposing the instantaneous apparent viscosity, it yields good results under specific conditions. Simulations conditions were configured by varying two non-dimensional parameters: the ratio between the yield stress and the wall shear stress, $\xi = \tau_y/\tau_w$, and the friction Reynolds number, Re_τ . The results were compared against Direct Numerical Simulations (DNS) data [1], as well as turbulent friction factor correlations [2], [3]. For $\xi \leq 0.10$, all models showed good agreement on the mean axial velocity profiles and friction factor curves. However, the non-decomposition of the instantaneous apparent viscosity causes a significant overestimation of the average apparent viscosity in the core region. This leads to an erroneous prediction of an unyielded region and affects the mean shear stress budget. A modified version of the Bingham model is proposed that improves the estimation of the average apparent viscosity.

REFERENCIAS

- [1] J. Singh, M. Rudman, and H. M. Blackburn, “The effect of yield stress on pipe flow turbulence for generalised newtonian fluids,” *J. Nonnewton. Fluid Mech.*, vol. 249, pp. 53–62, 2017, doi: 10.1016/j.jnnfm.2017.09.007.
- [2] H. R. Anbarlooei, D. O. A. Cruz, F. Ramos, C. M. M. Santos, and A. P. Silva Freire, “On the connection between Kolmogorov microscales and friction in pipe flows of viscoplastic fluids,” *Phys. D Nonlinear Phenom.*, vol. 376–377, pp. 69–77, 2018, doi: 10.1016/j.physd.2017.11.005.
- [3] K. C. Wilson and A. D. Thomas, “A new analysis of the turbulent flow of non-newtonian fluids,” *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 63, no. 4, pp. 539–546, 1985, doi: 10.1002/cjce.5450630403.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

**MODELO HÍBRIDO PARA LA SIMULACIÓN DE FLUJOS
TURBULENTOS: ESTUDIO DE CASOS CANÓNICOS**
Javier Salinas Polanco¹, Olivier Skurtys¹ y Martín Cisternas Fernández²

¹Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680- Valparaíso - CHILE

e-mail : javier.salinas@sansano.usm.cl, olivier.skurtys@usm.cl

²C&T Software e Ingeniería SpA

Av Carlos León 203, Laguna de Zapallar - Zapallar - CHILE

e-mail : martin.cisternas@cytsi.cl

RESUMEN

La hibridación de modelos RANS y LES es una técnica numérica que busca resolver el problema de la predicción deficiente que presentan los modelos de pared para LES en el comportamiento de la turbulencia en la región interna de la capa límite y la poca flexibilidad al momento de utilizar en dominios con geometrías que requieren un mallado complicado. En este trabajo se presenta un benchmarking del modelo de turbulencia híbrido SST – SIDDES [1] en la simulación de casos canónicos con el objetivo de comparar sus resultados con los entregados por modelos LES establecidos y así calibrar sus constantes. En este ejercicio se consideran dos casos canónicos de flujo turbulento: (1) Flujo de canal desarrollado [2] y (2) caso de cavidad diferencialmente calentada [3]-[4]. Estos casos fueron elegidos para evaluar las capacidades del modelo para representar la ley de pared en la capa límite turbulenta y la transferencia de calor, respectivamente. Particularmente, se comparan los perfiles de velocidad, estadísticas de turbulencia, convergencia de malla y tiempos de cómputo con los datos disponibles de simulaciones DNS y LES (resueltas hasta la sub-capa viscosa). Además, se evalúa la aplicabilidad del modelo híbrido a casos de estudio con un alto número de Reynolds. Los resultados muestran que (1) el modelo reproduce la ley de pared con una sobreestimación en la capa logarítmica. (2) los perfiles de temperatura y velocidad son correctos y el perfil del número de Nusselt muestra precisamente el punto de transición a la turbulencia. La distribución de las estadísticas turbulentas se captura adecuadamente, pero existe una subestimación. Se continúan las simulaciones para calibrar el modelo y así mejorar los resultados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Santa María por los recursos computacionales proporcionados para la realización de las distintas simulaciones.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

REFERENCIAS

- [1] M. Gritskevich, A. Garbaruk, J. Schütze and F. Menter, “Developed of DDES and IDDES formulations for the $k - \omega$ shear stress transport model”, *Flow, turbulence and combustion*, vol 88, pp. 431- 449, April 2012.
- [2] M. Lee and R. Moser, “Direct numerical simulation of turbulent channel flow up to $Re_\tau \approx 5200$ ”, *Journal of fluid mechanics*, vol 774, pp. 395 – 415, June 2015.
- [3] F.X. Trias, A. Gorobets, M.Soria and A. Oliva, “Direct numerical simulation of a differentially heated cavity of aspect ratio 4 with Rayleigh numbers up to 10^{11} – Part I: Numerical methods and time- averaged flow”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol 53, no 4, pp. 665 – 673, January 2010.
- [4] F.X. Trias, A. Gorobets, M.Soria and A. Oliva, “Direct numerical simulation of a differentially heated cavity of aspect ratio 4 with Rayleigh numbers up to 10^{11} – Part II: Heat transfer and flow dynamics”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol 53, no 4, pp. 674 – 683, January 2010.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

ESTIMACIÓN DE ESTADO Y CANTIDADES DE INTERÉS EN FLUIDOS NO NEWTONIANOS SOMETIDOS A GOLPE DE ARIETE. UNA APROXIMACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS Y MÉTODOS REDUCIDOS.

Matías Lara¹, Felipe Galarce¹ y Francisco Martínez¹

¹Escuela de Ingeniería Civil – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Av. Brasil 2147 – Valparaíso – CHILE
e-mail: matias.lara@pucv.cl, felipe.galarce@pucv.cl, francisco.martinez@pucv.cl

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la reconstrucción de campos de velocidad y presión en el tiempo asociados a la oscilación brusca producto de un cierre de válvulas en una tubería unidimensional, conectada a un estanque de gran tamaño[1]. Metodológicamente, se resuelven las ecuaciones de conservación hidráulico-mecánicas mediante el método de elementos finitos [2], para luego reducirlas dimensionalmente utilizando una descomposición propia ortogonal. Con un modelo reducido como insumo, es posible desplegar un algoritmo de asimilación de datos variacional capaz de extrapolar medidas de velocidad sintéticas y ruidosas, y usar la física del problema para estimar campos de velocidad y presión simultáneamente [3]. El esquema numérico es testado sistemáticamente para distintas configuraciones en la reología del flujo, incluyendo casos de alta plasticidad. Los buenos resultados numéricos de la reconstrucción, muestran la viabilidad del método y su posible escalamiento a configuraciones más realistas.

Palabras clave: elementos finitos, golpe de ariete, fluidos no Newtonianos, asimilación de datos

REFERENCIAS

- [1] Gabriel M. Oliveira, Admilson T. Franco, and Cezar O. R. Negrão. Mathematical Model for Viscoplastic Fluid Hammer. *Journal of Fluids Engineering*, 138(1):011301, 08 2015.
- [2] G. C. Avontuur and K. V. D. Werff. Systems reliability analysis of mechanical and hydraulic drive systems. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 77:121–130, 2002.
- [3] F. Galarce, J. F. Gerbeau, D. Lombardi, and O. Mula. Fast reconstruction of 3d blood flows from doppler ultrasound images and reduced models. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 375:113559, 2021.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

MÉTODO DE ACELERACIÓN DE ANDERSON EN MVF: FLUJOS DINÁMICOS ALTAMENTE CONVECTIVOS NO-NEWTONIANOS

Felipe A. Díaz*, Ernesto Castillo*, Roberto C. Cabrales+, y Nelson O. Moraga°

*Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile
Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE
e-mail: felipe.diaz.mo@usach.cl, ernesto.castillode@usach.cl.

+ Departamento de Matemática - Universidad de Tarapacá
18 de Septiembre 2222 – Arica – CHILE
e-mail: rccabrales@academicos.uta.cl

° Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de La Serena
Av. Benavente 980 – La Serena – CHILE
e-mail: nmoraga@userena.cl

RESUMEN

Este trabajo evalúa el método de Aceleración de Anderson (AA) en Volúmenes Finitos para resolver flujos dinámicos convectivo dominantes no-Newtonianos. La metodología utiliza un esquema de paso fraccionado de corrección de presión [1] adaptado al MVF como estrategia de segregación. La precisión y rendimiento del método de AA se evalúan utilizando esquemas convectivos TVD y no-TVD. Primero, se valida la precisión resolviendo dos problemas con soluciones analíticas. Posteriormente, se utiliza el método de AA para describir el flujo estacionario inducido en cavidad cuadrada, $Re = 7,500$, y dos casos transientes: $Re = 10,000$ y $20,000$. En estas pruebas se analiza la robustez y el desempeño de los esquemas al resolver flujos no lineales convectivo dominantes. Finalmente, se utiliza el método de AA en el flujo inducido para fluidos de ley potencial con índices $n = 0.5$ y $n = 1.5$, para $Re=15,000$ y $Re=25,000$, respectivamente. En los resultados destaca la reducción de las iteraciones no lineales usando Anderson, en 91.6% en el caso estacionario, y 79.9% en el caso dinámico, para los casos Newtonianos. En los fluidos adelgazantes y espesantes, las iteraciones no lineales se redujeron hasta un 64.3% cuando se utilizó el método de AA en flujos dinámicos convectivo dominantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de ANID en el proyecto FONDECYT 1210156 y el proyecto FONDECYT Postdoctorado 3240692.

REFERENCIAS

1. Castillo, E. & Codina, R. "First, second and third order fractional step methods for the three-field viscoelastic flow problem". *Journal of Computational Physics*, Vol 296, pp. 113–137 (2015).



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

Estimación variacional de arrastre a partir de medidas ruidosas de velocimetría usando modelos reducidos y el método de elementos finitos

Mauricio Portilla¹, Felipe Galarce¹ y Hernán Mella²

¹Escuela de Ingeniería Civil – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Gral. Cruz 2362804 – Valparaíso – CHILE
e-mail : mauricio.portilla.n@mail.pucv.cl, felipe.galarce@pucv.cl

²Escuela de Ingeniería Eléctrica - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Av. Brasil 2147 – Valparaíso – CHILE
e-mail : hernan.mella@pucv.cl

RESUMEN

En este trabajo buscamos la reconstrucción variacional de velocidades y presiones a partir de medidas de velocidad sub-sampleadas. Para esto se realiza el cómputo de cantidades de interés, tales como el arrastre o el esfuerzo de corte en la pared [1] mediante un esquema que reconstruye la mejor combinación lineal de bases de algún modelo reducido [2], como una descomposición a valores singulares o una descomposición modal dinámica [3]. Además, las estimaciones se hacen de manera indirecta usando la forma débil de las ecuaciones gobernantes, permitiendo así regularizar el posible ruido presente en las medidas, así como evitar el cálculo de derivadas de alto orden. El método supone un modelo *background* basado en las ecuaciones incompresibles de Navier-Stokes, que en la práctica son resueltas mediante el método de elementos finitos. El algoritmo propuesto consigue reconstruir sistemáticamente campos de velocidad, presión, el arrastre y los esfuerzos de corte en un fluido alrededor de un obstáculo. Resultados numéricos y estimaciones a-priori teóricas respaldan este estudio.

REFERENCIAS

- [1] V. Jhon, "Finite Element Methods for Incompressible Flow Problems", Springer, pp. 749-752, 2016.
- [2] Y. Maday, A. Patera, J. D. Penn, and M. Yano, "A parameterized-background data-weak approach to variational data assimilation: formulation, analysis, and application to acoustics", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 102. International Journal for Numerical Methods in Engineering, pp. 933–965, May 04, 2015.
- [3] P. Schmid, "Dynamic mode decomposition of numerical and experimental data", *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 656. Journal of Fluid Mechanics, pp. 5–28, Nov. 25, 2008.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



**Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional**

Estudio Numérico de la Generación de Entropía en Microcanales con Diferentes Geometrías y Fluidos

Amaru González¹, Luis Silva-Llanca², Ernesto Castillo¹, Alejandro Santos¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Santiago de Chile
Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE

e-mail : amaru.gonzalez@usach.cl, ernesto.castillode@usach.cl, alejandro.santos@usach.cl

²Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de La Serena
Benavente 980 – La Serena – CHILE
e-mail : lsilva@userena.cl

RESUMEN

En este estudio, se analiza numéricamente cómo las variaciones geométricas en microcanales y el uso de diversos fluidos newtonianos, incluidos nanofluidos, afectan la generación de entropía. Se evalúan tres geometrías: microcanales con pines circulares, con generadores de vórtices y con pines cuadrados. Además, se consideran cuatro números de Reynolds, comprendidos entre 200 y 800. Se analizan tres tipos de fluidos: agua, una mezcla de agua y etilenglicol (80:20), y un nanofluido de base acuosa con una fracción volumétrica de nanopartículas de alúmina del 0,75%. Las propiedades de los fluidos se obtienen de estudios experimentales [1], mientras que para el nanofluido se utilizan modelos monofásicos para determinar sus propiedades termofísicas. Los resultados indican que, a medida que aumenta el número de Reynolds, la generación de entropía por disipación viscosa también aumenta, mientras que la generación de entropía por transferencia de calor disminuye. Esto implica una reducción en la generación total de entropía, debido a que la contribución de la disipación viscosa es mínima en un régimen laminar, lo que contrasta con la significativa contribución de la transferencia de calor en la generación de entropía total.

Agradecimientos

Se agradece al Proyecto JUV_INVESTIGADORA_DICYT_USA21991, Código 052416GA_JUVI, y al proyecto DICYT Regular, Código 052416GA, ambos Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Creación. Universidad de Santiago de Chile, USACH. Se agradece también al proyecto FONDECYT Regular 1210156.

REFERENCIAS

[1] E. Castillo, A. Santos, A. González, "Numerical study of the use of shear-thinning nanofluids in a microchannel heat sink with different pin densities and including vortex generator." *Case Studies in Thermal Engineering* 57 (2024): 104328.