

Asociación Argentina
de Mecánica Computacional



Mecánica Computacional Vol XXXV, págs. 279-293 (artículo completo)
Martín I. Idiart, Ana E. Scarabino y Mario A. Storti (Eds.)
La Plata, 7-10 Noviembre 2017

SIMULACIÓN DE ROMPEVÓRTICES EN EL COLECTOR DE ENTRADA DE UN CANAL DE ENSAYOS

Alejandro C. Vaccari, Julio A. Giménez, Yael N. Sánchez, Nicolás Biocca, Gustavo E. Carr, Nicolás A. Antonelli, Juan F. Martínez, Santiago A. Urquiza

*Grupo HidroSim, Universidad Tecnológica Nacional, U.A. Mar del Plata, Buque Pesquero Dorrego
N° 281, Mar del Plata, Argentina. hidrodinamica@mdp.utn.edu.ar*

Palabras Clave: simulación, diseño, fluidodinámica computacional, hidrodinámica naval.

Resumen. En los canales de ensayos hidrodinámicos donde la recirculación del fluido se realiza mediante una conducción de sección considerablemente inferior a la de la zona de pruebas, surge el inconveniente de la formación un chorro de alta velocidad que produce condiciones inaceptables de operación. Por lo tanto, es imperativo instalar un elemento disipador ubicado en la zona de vertido, procurando lograr condiciones de uniformidad y regularidad en el campo de velocidades en la zona de mediciones. Dicho disipador de energía cinética consiste usualmente en una serie de mallas o enrejados que actúan como promotores de vórtices de tamaño muy inferior al del chorro principal, que en virtud de sus dimensiones, se disipan rápidamente. Los fenómenos involucrados en este tipo de componente son difíciles de predecir con precisión debido fundamentalmente a las condiciones de flujo turbulento prevalecientes en las inmediaciones del mismo. Esto dificulta los cálculos, motivando la necesidad de realizar modelos computacionales con vistas a obtener criterios razonables para el diseño preliminar. En este trabajo se presenta un modelo por elementos finitos del colector de entrada de un canal de ensayos hidrodinámicos existente en la UA Mar del Plata de la Universidad Tecnológica Nacional. En el mismo, el disipador es representado por zonas donde la permeabilidad del medio se altera para simular el efecto de la presencia de las mallas difusoras. Mediante esta implementación computacional se busca obtener detalles del patrón de flujo y la incidencia del disipador en la regularización del campo de velocidades. Los resultados obtenidos son utilizados para la selección del tipo de enrejado y la cantidad de placas disipadoras necesarias para lograr que el chorro se disipe convenientemente y se alcancen condiciones uniformes en la zona de ensayos.

1 INTRODUCCION

Desde el nacimiento del concepto de la optimización del diseño de carenas y formas de embarcaciones (tanto mercantes como veloces y de altas prestaciones), los canales de ensayos hidrodinámicos han sido utilizados para predecir el comportamiento de cualquier proyecto, mediante el análisis de modelos experimentales, en los cuales se analiza su comportamiento dinámico, como paso previo a la materialización del mismo, siendo este método el de mayor utilización a lo largo de todo el siglo XX.

En la actualidad, debido a los costos operativos necesarios para la realización de los ensayos en canales experimentales, el avance de las técnicas computacionales y el poder de cálculo de los ordenadores, comienza a tomar relevancia la complementación de dichos ensayos con métodos de Fluidodinámica Computacional, también denominados CFD.

El canal de Ensayos Hidrodinámicos tiene por objeto generar las condiciones de flujo adecuadas para que se puedan analizar modelos de embarcaciones, hélices o perfiles hidrodinámicos que requieran algún tipo de optimización. Entre otras alternativas, los canales recirculantes a pesar de requerir potencias operativas relativamente altas, presentan las siguientes ventajas: demandan instalaciones más reducidas en porte, requieren menor inversión inicial y permiten operar durante lapsos de tiempo indefinidos. Es así que la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Unidad Académica Mar del Plata decidió el diseño y construcción de un canal de ciclo cerrado con fines didácticos y científicos. Un caso similar de análisis puede encontrarse en el trabajo de [Da Silva Assi \(2005\)](#), consideraciones generales en el diseño de canales y túneles pueden rastrearse en las referencias allí citadas.

Para el diseño del canal se requiere poder anticipar la estructura del flujo fundamentalmente en la zona de análisis, donde se deben garantizar condiciones de velocidad uniforme y estable a lo largo de la duración del ensayo. En un trabajo anterior, [Vaccari \(2016\)](#) se analizó la acción de un panel rompevórtices en el ingreso a la sección de pruebas y también, la estructura del flujo en el colector de entrada cuando la inyección es realizada desde el fondo con dirección vertical. Se arribó a la conclusión de que esa forma de inyección no era conveniente, ya que producía condiciones de flujo irregular en la superficie de este componente. Consecuentemente, se decidió cambiar el diseño colocando la inyección en dirección horizontal orientada hacia el mamparo posterior del canal. Esto plantea la necesidad de interponer en el recorrido del chorro inyectado un bastidor porta placas difusoras, que tienen la finalidad de disipar la energía cinética de la vena líquida antes de que impacte con alta velocidad en la pared posterior. Estas placas difusoras se realizarán en metal desplegado, cuyo enrejado provocará la generación de vórtices, que a su vez, dispersarán y disiparán la energía cinética del fluido entrante. Para los fines mencionados se presenta aquí un modelo fluidodinámico por el método de elementos finitos (MEF) para simular las principales características del flujo en un modelo del colector de entrada del canal, con el objeto de evaluar la capacidad disipativa de las mallas. Debido a que el perforado de las placas introduce un factor de escala mucho menor que el tamaño del canal no es posible modelar el detalle de las mismas. Es así que se propone modelar su efecto en la corriente de fluido como placas de un medio poroso no-lineal considerando las pérdidas como producidas por un arreglo regular de orificios. En adelante, se describe la forma en que esto se implementa en un modelo computacional para el cual se modifican las ecuaciones gobernantes de manera adecuada en las zonas ocupadas por las placas difusoras. En las siguientes secciones se presenta una breve descripción de las características del canal, del proceso desarrollado y de los resultados obtenidos.

2 ESPECIFICACIONES DEL CANAL HIDROSIM

Se presentan a continuación las principales características técnicas del canal denominado Hidrosim-UTN. Asimismo, se indican valores de los parámetros de diseño más relevantes. Por razones de espacio, simplicidad constructiva y de montaje, además de considerar los menores costos, el sistema impulsor seleccionado es por bomba centrífuga y cañerías, en contraposición al sistema hidrodinámicamente óptimo de impulsión por hélice dispuesta en un canal inferior o lateral.

2.1 Especificaciones de diseño

Como ya fue mencionado, el canal Hidrosim (Figura 1) es de ciclo cerrado. El mismo fue diseñado considerando una sección de pruebas que permita analizar modelos con escalas en un rango de 1:50 a 1:30, con números de Froude del orden de 0,15 y velocidades del fluido del orden de los 0,15 a 0,50 m/s. Estas velocidades en la zona de ensayo se alcanzan utilizando una bomba del tipo centrífugo de 650 m³/h y 38 kW de potencia. Las características generales pueden observarse en la Tabla 1.

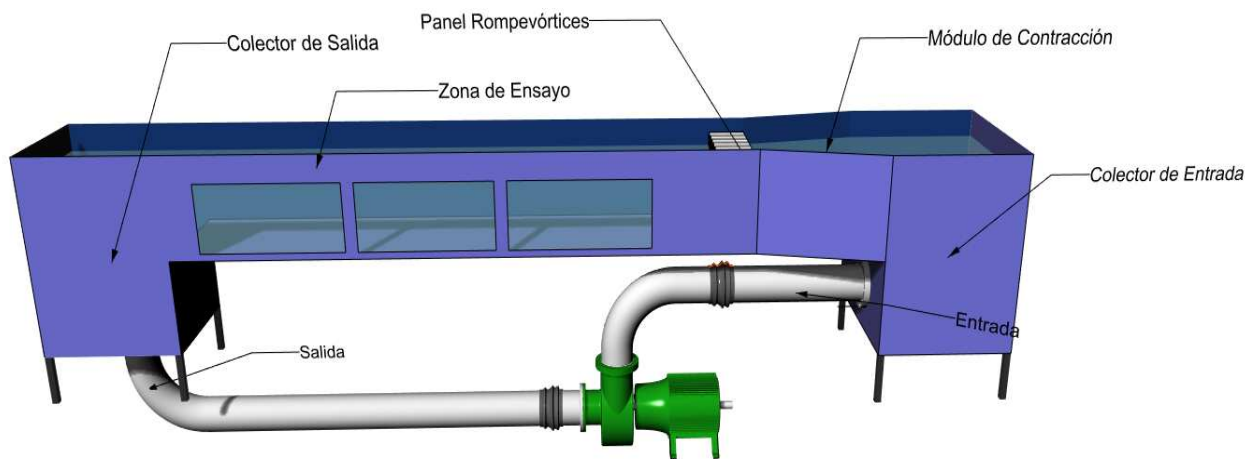


Figura 1: Modelo digital de canal de circulación.

<i>Tipo de Circuito</i>	Horizontal, ciclo cerrado
<i>Área de ensayo</i>	5700 x 1000 x 550 mm
<i>Velocidad de ensayo</i>	0,15 m/s ~ 0,50 m/s
<i>Caudal de circulación</i>	650 m ³ /h
<i>Impulsor</i>	Bomba centrífuga axial
<i>Potencia</i>	38 kW
<i>Tipo de fluido</i>	Agua dulce

Tabla 1: Especificaciones técnicas.

2.2 Características geométricas

En cuanto a dimensiones y aspectos geométricos, el canal de ensayo posee una longitud total de 8,00 m de largo, un ancho de 1,00 m en la sección de ensayo y una altura máxima de 1,40 m. Puede considerarse subdividido en tres componentes principales. En su comienzo se encuentra el colector de entrada (cavidad en la que se encuentra emplazado el dissipador de energía objeto del presente análisis), el módulo de contracción y el panel rompevórtices (Figura 2), que son los encargados de dirigir el flujo hacia el sector de ensayos en forma uniforme y sin vórtices ni mayores perturbaciones. La siguiente etapa es la de pruebas, donde se encuentra un canal de 5,70 m de longitud, 1,00 m de ancho y 0,55 m de altura efectiva. Éste es el sector en donde se coloca el modelo y se realizan todas las mediciones. Más adelante, el flujo desemboca en el colector de salida. La retroalimentación del canal se realiza mediante una tubería de 10 pulgadas de diámetro y una bomba centrífuga ubicadas debajo del canal.

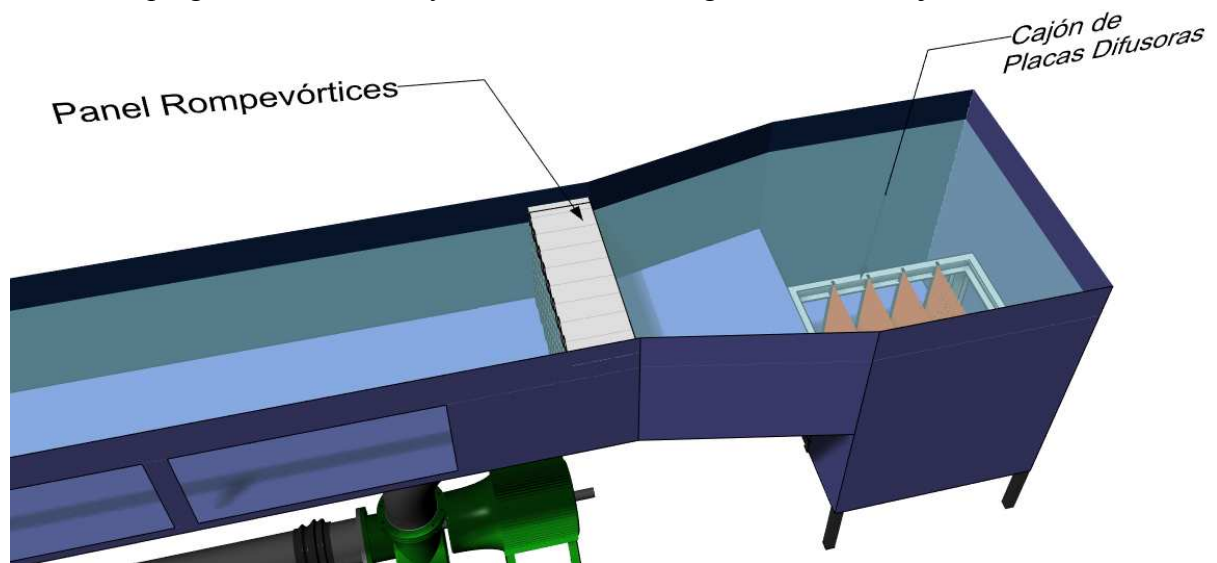


Figura 2: Detalle zona colector de entrada.

3 MODELADO COMPUTACIONAL

Las simulaciones computacionales del flujo en el canal se realizaron mediante una técnica de elementos finitos estabilizados para las ecuaciones de Navier-Stokes (NS) que incluyen términos de permeabilidad no-lineales para simular el efecto de las placas difusoras del chorro inyectado por la bomba en el colector de entrada. Debido a la simetría del canal en su plano medio, el modelo consiste sólo de la mitad del volumen bajo análisis. De esta forma, en el plano medio se asume nula la componente normal de la velocidad y condiciones de deslizamiento libre para las componentes tangentes al mismo.

El objetivo principal de las simulaciones es dar cuenta de la efectividad de las placas difusoras colocadas de manera transversal al chorro de inyección en la base del colector de entrada para aplacar la magnitud del campo de velocidades difundiendo y dispersando su energía por el efecto del enrejado provisto por cuatro placas de material desplegado. Por lo tanto, los casos analizados están elegidos para dar respuesta a los mismos. Asimismo, en virtud de las respuestas buscadas no se hace necesario considerar en la formulación la existencia de la superficie libre, lo que aumentaría el costo computacional innecesariamente para el nivel de detalle buscado en el presente trabajo. Por lo tanto, se asume componente normal de la velocidad nula en la superficie superior en contacto con el aire del colector de entrada y rompevórtices en la salida de la sección modelada.

3.1 Ecuaciones de gobierno

Considerando que el fluido de trabajo que ocupa el volumen interior del canal de ensayos hidrodinámicos es agua, se asume que la dinámica del mismo estará gobernada por las ecuaciones de NS para fluido incompresible en régimen turbulento. Un tratamiento especial se utiliza para modelar el efecto de la presencia de los enrejados disipadores de la energía cinética del chorro de entrada, que se modelan a través de la introducción de unas zonas con espesor delgado que llevan en cuenta efectos de permeabilidad no-lineal. La turbulencia se trata con la técnica de large eddy simulation (LES), específicamente con el modelo de Smagorinsky (Smagorinsky 1963, Kato y Ikegawa 1991) para el cálculo de la viscosidad de torbellinos. Las ecuaciones diferenciales resultantes pueden escribirse como:

$$\rho (\partial \mathbf{v}_t + \nabla \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\alpha}(|\mathbf{v}|)\mathbf{v} + \rho \mathbf{g} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

Estas ecuaciones son válidas en el dominio Ω ocupado por el fluido para todo tiempo $t \in [0, T]$ con apropiadas condiciones de contorno e iniciales, siendo \mathbf{v} la velocidad del fluido, ρ su densidad, \mathbf{g} las fuerzas por unidad de masa debidas a la gravedad, $\boldsymbol{\sigma} = -p\mathbf{I} + 2\rho(\nu + \nu_t)\nabla^s(\mathbf{v})$ en la cual p es la presión, ν, ν_t son la viscosidad cinemática y la viscosidad de torbellino, respectivamente. Como ya fue mencionado, esta última se evalúa con la metodología de Smagorinsky (1963) y de Kato y Ikegawa (1991) para modelos LES. Por otra parte, el tensor $\boldsymbol{\alpha}$ se usa para modelar el efecto de la presencia de los paneles difusores, por lo tanto, en todas las demás zonas del canal $\boldsymbol{\alpha}$ se considera nulo. Dicho tensor depende de $|\mathbf{v}|$ en la medida que se obtiene a partir de coeficientes de pérdida de cargas tal cual se indica en detalle en la próxima sección.

El sistema (1)-(2) es expresado en su versión variacional y las ecuaciones resultantes son discretizadas por el MEF con técnicas de estabilización streamline-upwind Petrov Galerkin (SUPG) (Hughes 1979, Brooks 1982), pressure stabilized Petrov–Galerkin (PSPG) y least squares incompressibility constraint (LSIC) (Tezduyar 1991, Tezduyar y Mittal 1992, Tezduyar y Osawa 2000), de acuerdo con lo expuesto por Battaglia 2009. Estas técnicas permiten utilizar igual orden de interpolación para velocidad y presión. El problema discreto es resuelto en un programa de propósito general que permite implementar tanto el Método de Elementos Finitos como otros métodos como los de Diferencias Finitas, Volúmenes Finitos y Elementos de Contorno, desarrollado por el grupo (Urquiza 2002, Dondero 2008) y ampliamente utilizado en otros contextos (Blanco 2016, Pereyra 2014, Blanco 2010, Blanco 2009, Larrabide 2012, Santiago 2010, Urquiza 2006).

3.2 Modelado de las placas difusoras

En este apartado se describe en detalle el significado del tensor $\boldsymbol{\alpha}$ asociado a la acción difusora de las rejillas que se colocan en la zona de inyección, sobre la parte inferior del colector de entrada, y que tienen la función de reducir significativamente la energía cinética del flujo inyectado al colector por acción de la bomba impulsora. La configuración a evaluar del módulo difusor se muestra en la Figura 2. Consta de 4 paneles de Material Desplegado que serán testados numéricamente con el objetivo de determinar su efectividad para dispersar el chorro de entrada disminuyendo significativamente su velocidad e impidiendo que éste impacte en la pared posterior del canal y provoque un fuerte flujo ascendente.

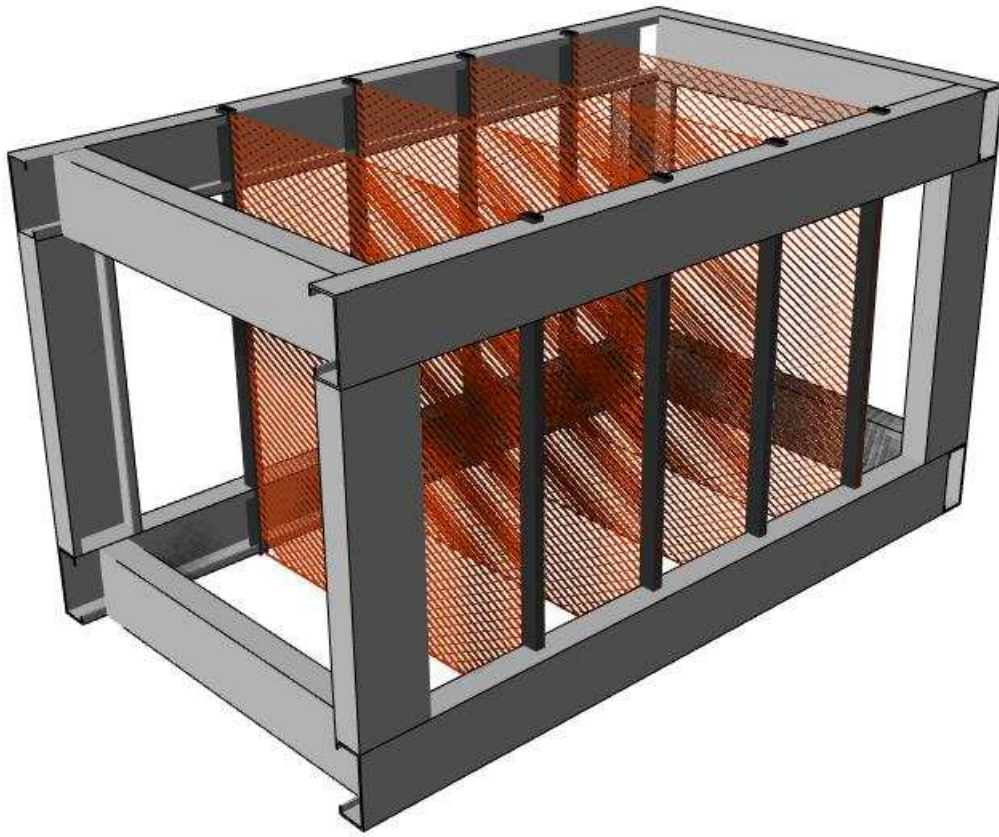


Figura 2: Cajón de placas difusoras

Las placas difusoras se pueden considerar como un arreglo regular de orificios perforados en una placa continua como se muestra en la Figura 3.

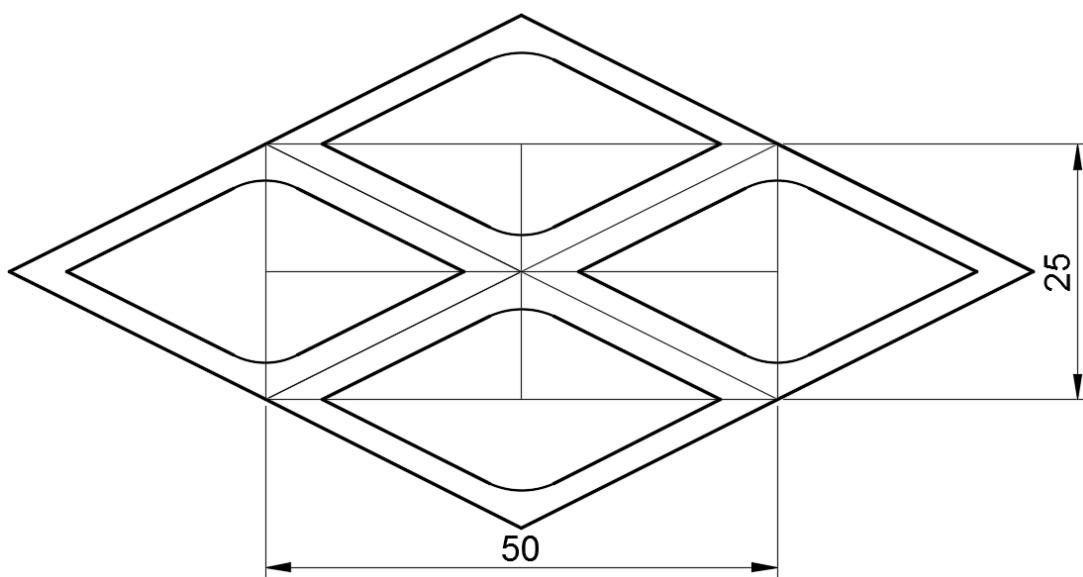


Figura 3: Placas difusoras

Para las simulaciones, se simplifica la geometría omitiéndose el detalle de los bastidores y asumiendo que el flujo que incide sobre las placas puede subdividirse en tubos idealizados que son la prolongación del patrón romboidal de las placas en su dirección normal. De esta manera, cada perforación se considerará, desde el punto de vista de las pérdidas hidrodinámicas, como una placa orificio. Las pérdidas se estiman con los coeficientes tabulados para placas orificios de sección circular calculando diámetros equivalentes $D_{eq} = 4A/P$, siendo A en área de la sección transversal al flujo principal y P el correspondiente perímetro. Cabe aclarar que, dado que las placas orificio son utilizadas como elementos de medición, es usual encontrar tabulado el coeficiente de descarga (empleado para correlacionar el diferencial de presión -de acuerdo a la configuración de tomas de presión- con el caudal) pero no el coeficiente de pérdidas de energía mecánica en la corriente fluidica. Es éste último coeficiente el que utilizaremos en este trabajo. Coherente con dichas pérdidas, se asigna a una zona que tiene el mismo área total que las placas de material desplegado y un espesor delgado $e = 1$ cm, una fuerza por unidad de volumen opuesta a la dirección de la velocidad, análogas a las de un medio poroso pero con un comportamiento no-lineal, ya que el coeficiente de pérdidas relaciona las mismas con el cuadrado de la velocidad. Más específicamente, para una placa orificio tendremos que las pérdidas específicas de energía mecánica en la corriente del flujo pueden expresarse cómo:

$$\Delta P_l = K_o \frac{1}{2} \rho |\mathbf{v}|^2 \quad (3)$$

Siendo ΔP_l las pérdidas de carga (energía mecánica específica) medidas en unidades de presión y K_o el coeficiente de pérdidas. De tal forma dichas pérdidas deben distribuirse uniformemente en el volumen de espesor e asociado a la placa de acuerdo con:

$$\Delta P_l / e = \frac{K_o}{e} \frac{1}{2} \rho |\mathbf{v}|^2 \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que $\Delta P_l / e$ tiene unidades de un gradiente de presiones, ahora estamos en condiciones de definir el tensor $\alpha(|\mathbf{v}|)$ de la siguiente forma:

$$\alpha(|\mathbf{v}|) = - \frac{K_o}{e} \frac{1}{2} \rho |\mathbf{v}| \mathbf{I} \quad (5)$$

Siendo \mathbf{I} el tensor identidad. De esta manera, se introducen las pérdidas a través de un término de flujo poroso no-lineal, equivalente a una fuerza opuesta a la dirección de la velocidad. El tensor \mathbf{I} podría reemplazarse por alguna variante anisotrópica que tenga en cuenta cierta direccionalidad en la configuración de los orificios y en la consiguiente acción sobre el flujo. Debido a que el chorro incide sobre las placas de manera predominantemente perpendicular, en este trabajo hemos optado por mantener la versión más simple posible.

El coeficiente $K_o = 1.2$ utilizado en los cálculos se obtiene de Crane (1986) página A20.

3.3 Casos evaluados

Se evaluó el efecto del cajón difusor mediante la comparación de dos casos. En el primer caso (Caso 1), en las cuatro zonas que simulan la presencia de las placas difusoras el tensor α se asume nulo y por lo tanto es el caso de referencia contra el cuál se compara la introducción de la acción de las placas. En el segundo, identificado como Caso 2, se lleva en cuenta la acción de las placas difusoras activando la acción de α en las cuatro zonas que representan su presencia en el modelo geométrico. Con la comparación de los patrones de flujo entre ambos casos se pretende arrojar luz sobre las condiciones de inyección al colector de entrada y la efectividad de las placas difusoras para incidir en la estructura del flujo prevaleciente en dicha zona,

evaluando la eficacia en cuanto a la acción de regularización del dispositivo. En ambos casos se impone una velocidad de entrada de 3m/s, se supone adherencia en todas las superficies de contacto con las paredes del canal, velocidad vertical nula en la superficie superior en las zonas del colector de entrada. La acción de la gravedad es llevada en cuenta resolviendo para la presión piezométrica $p_z = p + \rho gh$ (con h coordenada de altura medida en contra de la gravedad desde la superficie libre). Así es que en la superficie de salida se asume una condición de presiones hidrostáticas o equivalentemente, presión piezométrica uniformemente nula. La malla empleada, que termina donde comenzaría la zona de ensayos luego del panel rompevórtices, fue discretizada con elementos tetraédricos lineales utilizando el sistema Salome (Salome project, Bergeaud et. al. 2010) y aprovechando la simetría en el plano medio. Considerando las incógnitas nodales de velocidad y presión el problema requiere resolver aproximadamente $2.65E6$ incógnitas. Las simulaciones fueron realizadas con un paso de tiempo de 0,01s hasta alcanzar los 6 s de simulación, tiempo para el cual se obtienen soluciones cuasiestacionarias. El primer caso se simuló también con un paso de tiempo de 0.001s llegando a la conclusión que el paso utilizado no incide en los resultados de la simulación. En la Figura 4 puede observarse el mallado de la geometría completa que consta de 663422 nodos y 3521911 elementos, mientras que en la

Figura 5 se muestra un detalle en la zona de las placas deflectoras del colector de entrada.

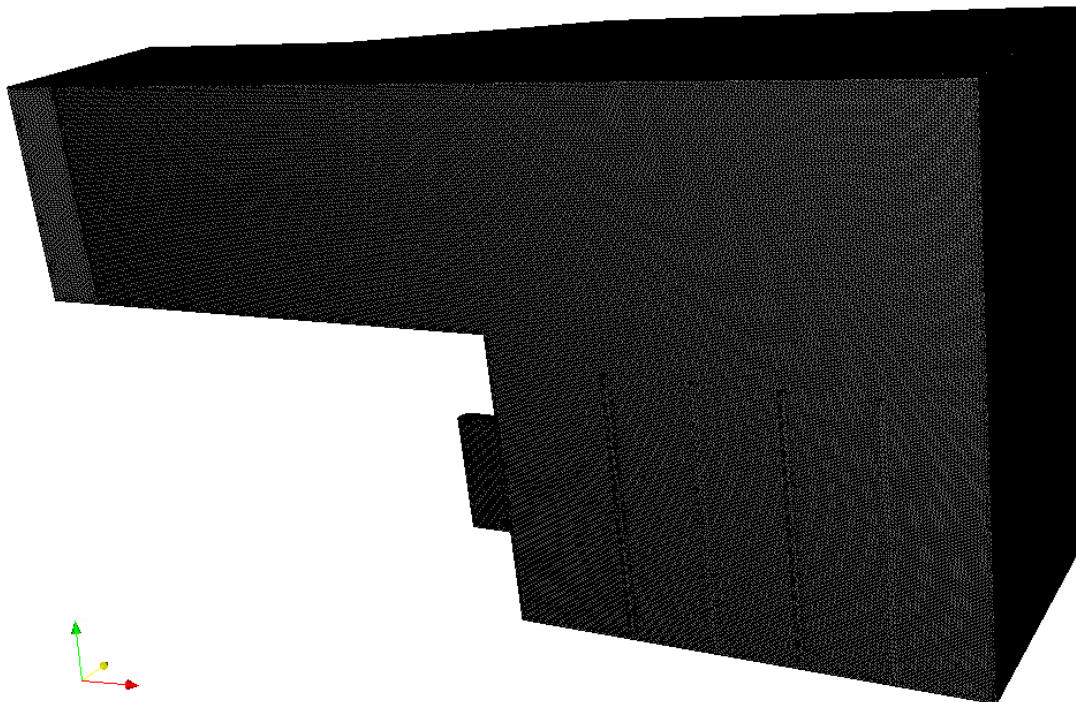


Figura 4: Malla utilizada

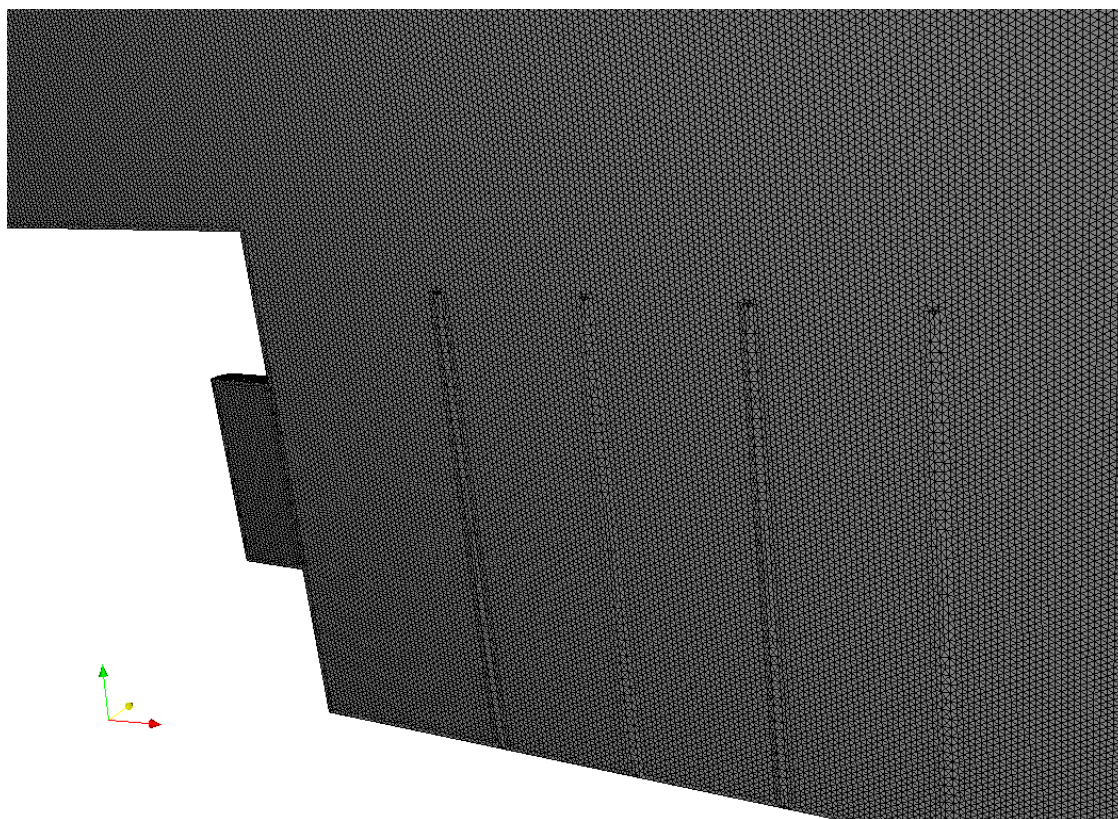


Figura 5: Detalle de la malla en las placas deflectoras

4 RESULTADOS

4.1 Caso 1

Las [Figura 6](#) y [Figura 7](#) presentan los resultados de la simulación para el caso en que se deja al chorro de entrada evolucionar libremente en el interior del colector. Estas representaciones ponen en evidencia que el chorro de entrada se disipa y mezcla de manera insuficiente, alcanzando la superficie posterior con valores de velocidad del orden de 4m/s provocando significativas irregularidades en las líneas de corriente y fuertes flujos secundarios.

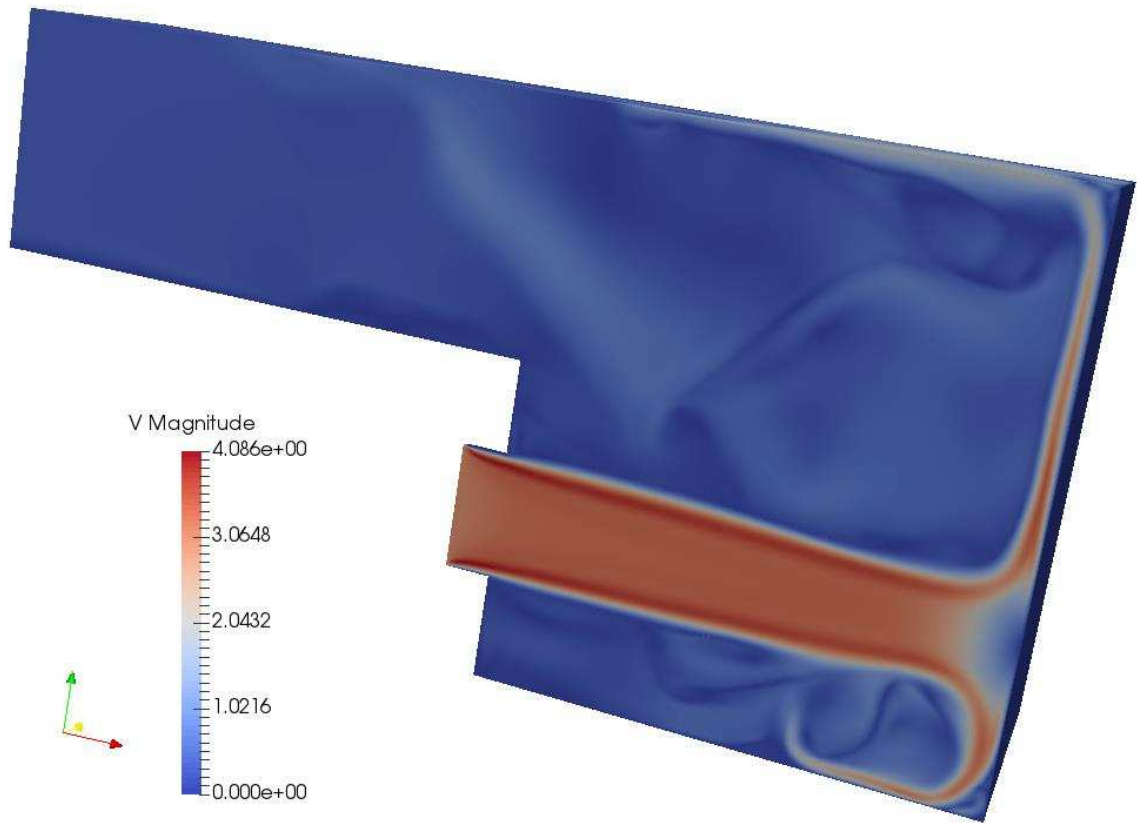


Figura 6: Flujo en el colector de entrada Caso 1.

La [Figura 7](#) muestra el campo de velocidades en el interior del volumen superpuesto a un gráfico de alabeo con el vector velocidad (VW: del inglés, velocity warping) de un corte con un plano horizontal ubicado apenas por debajo del nivel del piso de la sección de ensayos en el colector de entrada. El detalle del VW puede observarse en la [Figura 8](#) en el cual queda en evidencia que el impacto del chorro de entrada contra la pared posterior del colector produce una fuerte corriente ascendente con magnitudes de velocidad del orden de 4m/s, que son inaceptables debido al oleaje que producirían en la superficie libre, además de irregularidades y corrientes secundarias de gran magnitud generadas en el colector que terminan afectando la zona de ensayos. Esta es la razón que fundamenta la necesidad de colocar en el trayecto del chorro de entrada el bastidor porta-mamparos con material desplegable que son objeto de análisis en el Caso 2.

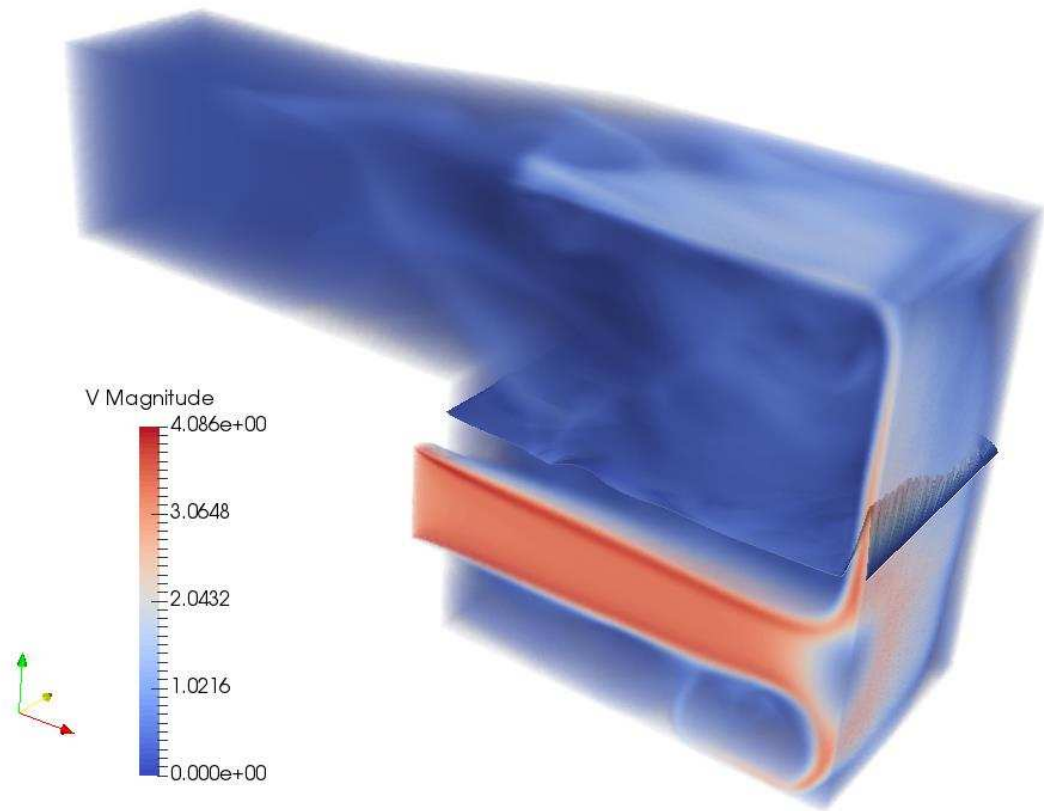


Figura 7: Flujo y plano de VW para el Caso 1.

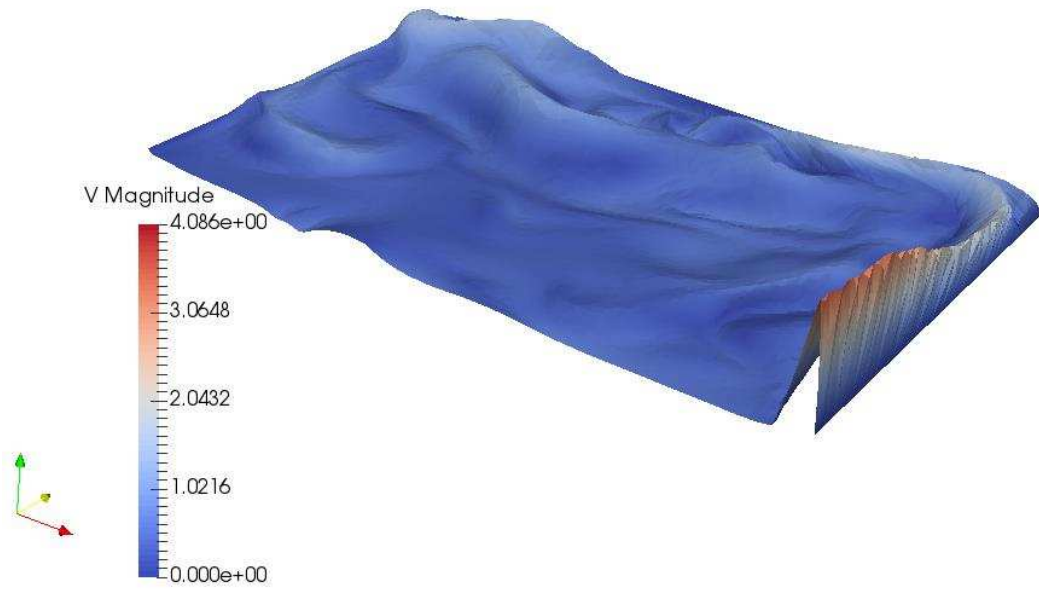


Figura 8: VW sobre plano horizontal en el colector de entrada Caso 1.

4.2 Caso 2

Se presentan a continuación los resultados de la simulación por la introducción de la acción de las placas difusoras sobre el chorro de entrada. En este caso, de acuerdo con lo observado en la [Figura 9](#) queda evidenciada la acción de las cuatro placas difusoras en la zona baja del colector de entrada. Así puede observarse la efectividad de las mismas, logrando disipar y dispersar el chorro de entrada reduciendo considerablemente su energía cinética. En la [Figura 10](#) pueden observarse mayores detalles de la estructura del flujo en el colector superpuesto con un VW en la misma localización que el Caso 1. La [Figura 11](#) muestra el detalle del VW en el plano mencionado poniendo en evidencia la significativa reducción de las velocidades máximas alcanzadas cuando el flujo atraviesa dicho plano en dirección a la zona de ensayos.

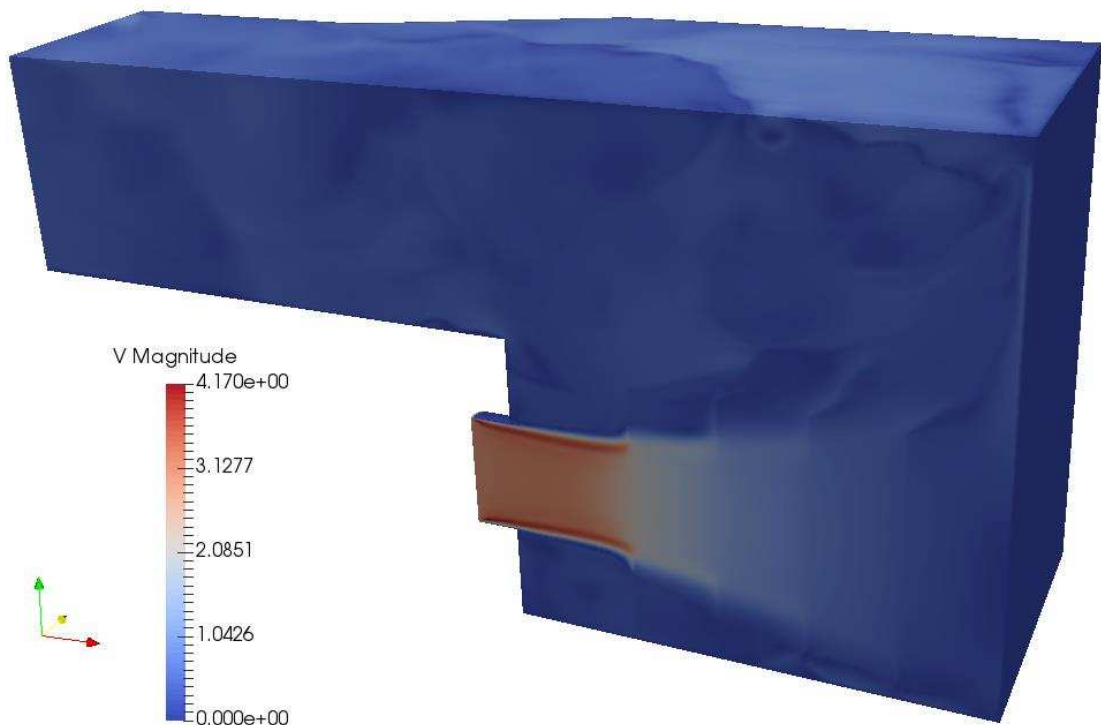


Figura 9: Flujo en el colector de entrada para el Caso 2.

Observar que en la [Figura 11](#) no se usa la misma escala que en las representaciones 3D ya que haría imposible apreciar en detalle las características del flujo en dicho plano. Es significativo señalar que las máximas velocidades en esa sección han disminuido a valores del orden de 0.7m/s, con lo cual la reducción de energía cinética en comparación con el Caso 1 es del orden de 33 veces.

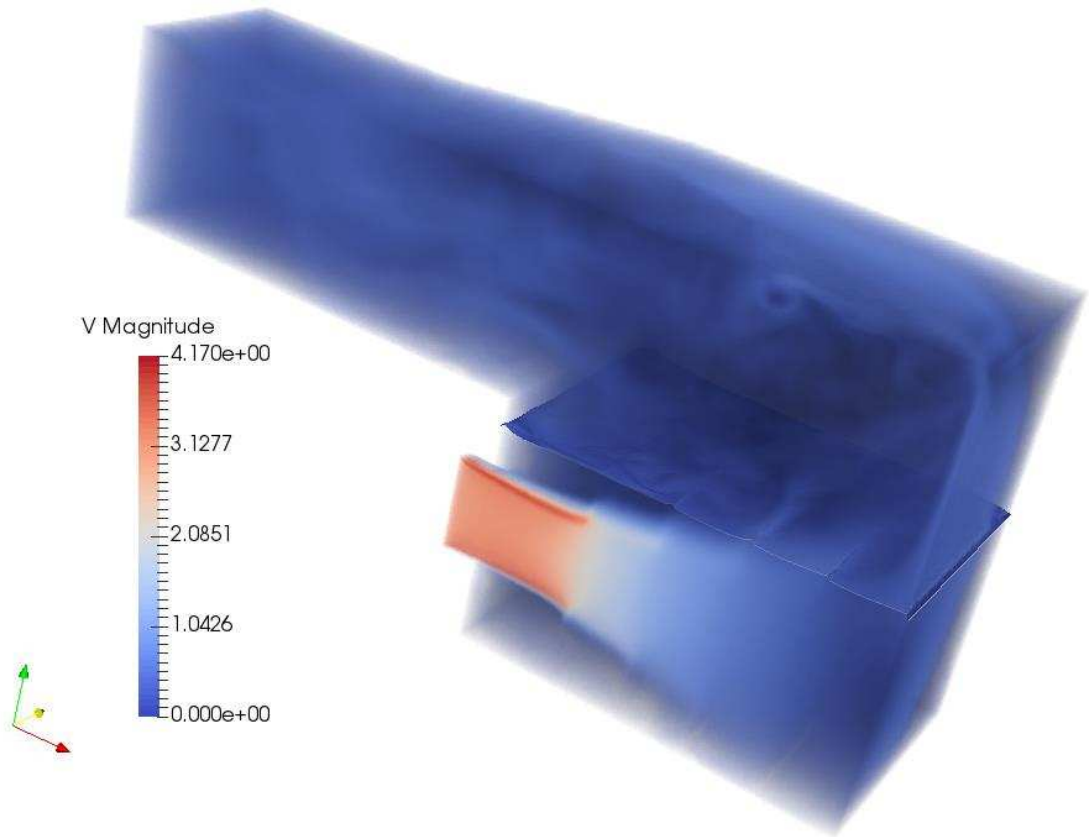


Figura 10: Flujo y plano de VW para el Caso 2.

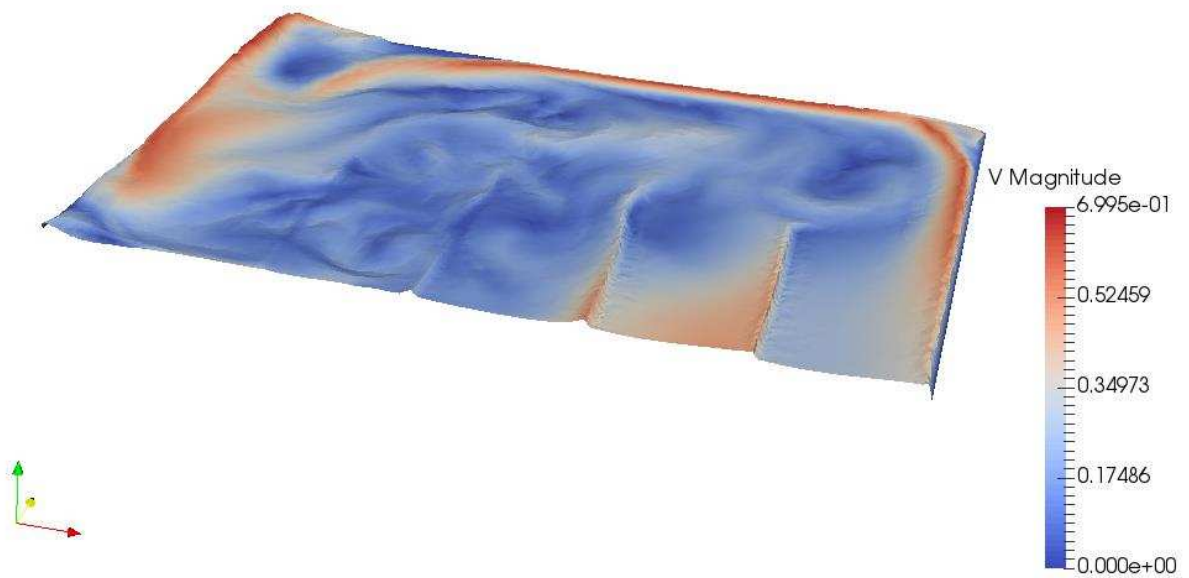


Figura 11: VW sobre plano horizontal en el colector de entrada Caso 2.

5 CONCLUSIONES

El modelo implementado ha mostrado la efectividad del uso de placas difusoras para aplacar la intensidad del chorro de entrada al colector del canal. Las simulaciones han permitido anticipar la estructura del flujo y ver las incidencias de la forma de inyección y de la acción de los elementos de control de flujo secundario. Dado que la inyección no puede hacerse de manera libre, siendo necesaria la implementación de elementos disipadores que dispersen el flujo disminuyendo su intensidad antes de alcanzar las zonas superiores del colector, este trabajo ha puesto en evidencia que el bastidor con placas difusoras de material desplegado es una solución efectiva. Si por las incertidumbres del modelo debieran usarse algunas placas adicionales, esta alternativa es de muy fácil y económica implementación. También surge como conclusión que además de las placas dispuestas perpendiculares al chorro, puede colocarse un entramado de malla fina en un plano horizontal ubicado en la zona donde se han realizado los gráficos de VW. En esa localización el entramado puede hacerse mucho más denso ya que esa sección tiene un área considerablemente mayor a la del conducto de entrada. Con esa complementación se lograría aquietar el flujo lo suficiente para tener condiciones de entrada muy regulares a la zona de ensayo, sin la utilización de costosas y complejas guías de flujo en el colector de entrada.

REFERENCIAS

- Battaglia, Laura. *Elementos Finitos Estabilizados para Flujos con Superficie Libre: Seguimiento y Captura de Interfase*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 2009.
- Bergeaud, Vincent y Lefebvre, Vincent. SALOME A software integration platform for multi-physics, pre-processing and visualisation. *Proceedings of SNA + MC2010: Joint international conference on supercomputing in nuclear applications + Monte Carlo 2010* Tokyo, Japan, 43:1630-1634. 2010.
- Brooks, A. N. y Hughes, T. J. R. Streamline upwind / Petrov-Galerkin formulations for convection dominated flows with particular emphasis on the incompressible Navier-Stokes equations. *Comp. Methods in Applied Mechanics Engineering*, 32(1-3):199–259, Sep 1982.
- Hughes, T. y Brooks, A. A multi-dimensional upwind scheme with no crosswind diffusion. *Finite Element Methods for convection Dominated Flows, AMD-Vol.34, ASME*, New York 34:19–35, 1979.
- Kato, C. Ikegawa, M. Large eddy simulation of unsteady turbulent wake of a circular cylinder using the finite element method, in I. Celik, T. Kobayashi, K. Ghia, J. Kurokawa, eds., *Advances in Numerical Simulation of Turbulent Flows, FED-Vol.117, ASME*, New York, pp. 49–56, 1991.
- SALOME project website, <http://www.salome-platform.org>
- Smagorinsky, J. General circulation experiments with the primitive equations. *Monthly Weather Review*, 91(3), 99–165, 1963.
- Tezduyar, T. E. Stabilized finite element formulations for incompressible flow computations. *Advances in Applied Mechanics*, 28:1–44, 1991.
- Tezduyar, T. E., Mittal, S., Ray, S. E., y Shih, R. Incompressible flow computations with stabilized bilinear and linear-equal-order interpolation velocity/pressure elements. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 95(2):221–242, Marzo 1992.
- Tezduyar, T. E. y Osawa, Y. Finite element stabilization parameters computed from element matrices and vectors. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190(3-4):411–430, Octubre 2000.
- Urquiza S. A., Vénere M.J. “An Application Framework Architecture For Fem And Other Related Solvers”, pp. 3099-3109, ISSN 1666-6070, *MECANICA COMPUTACIONAL*

- Vol. XXI, S. Idelsohn, V. Sonzogni, A. Cardona Eds., CERIDE, Sta Fe, 2002.*
- Dondero M., Santiago D., Urquiza S. “Un Framework Orientado a Objetos para la Implementación de Métodos Discretos”. *Alberto Cardona, Mario Storti, Carlos Zuppa. (Eds.), pp: 2959-2965, Mecánica computacional XXVII, ISSN: 1666-6070, San Luis, Argentina, nov. de 2008.*
- Blanco P.J., Ares G.D., Urquiza S.A., y Feijóo R.A. “On the effect of preload and pre-stretch on hemodynamic simulations: an integrative approach”. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology, Springer, Heidelberg, ISSN: 1617-7959 (print version), ISSN: 1617-7940 (electronic version). (IF:3.15). Biomech Model Mechanobiol 15:593–627. DOI 10.1007/s10237-015-0712-y, 2016.*
- Pereyra S.; Lombera, G.; Frontini, G. y Urquiza, S. Sensitivity analysis and parameter estimation of heat transfer and material flow models in friction stir welding. *Materials Research. (Mat. Res.). Vol.17, n.2, pp. 397-404. ISSN 1516-1439, Mar-Apr, 2014.*
- Larrabide, I.; Blanco P., Urquiza S., et. al. “HeMoLab - Hemodynamics Modelling Laboratory: an application for modelling the human cardiovascular system”. *Computers in Biology and Medicine, Pergamon Press, Inc.Elmsford, NY. Vol 42:10, 993-1004, 2012.*
- Blanco P., Urquiza S. y Feijóo R. Assessing the influence of heart rate in local hemodynamics through coupled 3D-1D-0D models. *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng., Wiley; 26:890–903. 2010 .*
- Santiago D., Lombera G., Urquiza S., Agelet de Saracibar, C., Chiumenti, M. “Modelado termomecánico del proceso de “Friction Stir Welding” utilizando la geometría real de la herramienta” *RIMNE Revista Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería ISSN 0213-1315, Spain, Vol 26:4, 293-303, 2010.*
- Blanco, P.J., Pivello M. R., URQUIZA S.A. y Feijóo R.A. “On the potentialities of 3D–1D coupled models in hemodynamic simulations”, *Journal of Biomechanics, Vol. 42: 7, 919-930. ISSN: 0021-9290, Elsevier. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.01.034, 2009.*
- Urquiza S. A., Blanco P. J., Vénere M. J., Feijóo R. A., “Multidimensional Modelling for the Carotid Artery Blood Flow”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Elsevier Sc.; Vol 195:33-36, 4002-4017, ISSN: 0045-7825, 2006.*
- Da Silva Ássi G., Romano Meneghini J., Penteadó Aranha J., Coletto W. “Design, Assembling and Verification of a Circulating Water Channel Facility for Fluid Dynamics Experiments”. *Proceedings of COBEM 2005 18th International Congress of Mechanical Engineering, by ABCM, November 6-11, Ouro Preto, MG, 2005.*
- Crane Co. *Crane Technical Paper 410M: Flow of Fluids Through Valves, Pipes and Fittings*, pg. A20, Sixth printing, publisher Crane Valves, England, 1986.eni
- Alejandro Vaccari, Tomás Gorga, Julio Giménez, Yael Sanchez, Nicolás Biocca, Santiago Urquiza. Modelo Computacional de un Canal de Ensayos Hidrodinámicos. ENIEF 2016 XXII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. *Mecánica Computacional, Volume XXXIV. Number 16. Industrial Applications. pp.1079-1092 (artículo completo). Sebastián Giusti, Martín Pucheta y Mario Storti (Eds.) AMCA, Santa Fé; Año: 2016. ISSN 1666-6070*