

PROPUESTA DE NUEVOS DISEÑOS PARA LA TOMA EN MUELLES

Carlos Bacolla¹, Gerardo Franck^{1,2}, Diego Sklar¹ y Silvina Serra²

¹ *Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, CC 217. Ruta Nacional 168, Km 472.4, (3000) Santa Fe, Argentina.*

² *Aula CIMNE–FICH. FICH, UNL. Santa Fe, Argentina- CIMNE(International Center for Numerical Methods in Engineering)- CIMNE Edificio C1, Campus Norte UPC C/ Gran Capitán S/N 08034 Barcelona, España*
e-mail: gfranck@intec.unl.edu.ar, cbacolla@fich1.unl.edu.ar, diegosklar@gmail.com, silviserra08@gmail.com

Palabras claves: Toma de agua en muelles, número de Reynolds, ecuaciones de Navier-Stokes, flujo viscoso incompresible, vórtices estacionarios e intermitentes, turbulencia, LES, cuenco.

Resumen: En el presente trabajo analizamos el flujo dentro y fuera de la toma de succión de las bombas en una disposición en muelle, similar a las instalaciones de toma de agua construidas sobre el río Paraná, en la región litoral de Argentina.

El modelo trata de conservar las características y las dimensiones que en la realidad presentan estos tipos de toma, pero a su vez se proponen una serie de alternativas de diseño que mejoran el proceso de succión reduciendo las inestabilidades presentes en la, mejorando el rendimiento tanto de las bombas como del proceso en general. El flujo está caracterizado por la formación de vórtices y estructuras coherentes, debido en gran medida a la disposición geométrica, al diseño de la toma o bien a las condiciones de operación. Por lo general estos vórtices son de características no estacionarias e intermitentes. La presencia de los mismos y el alto nivel de no uniformidad en el flujo puede producir niveles elevados de remolinos no estacionarios dentro y fuera de la columna de succión, que a su vez puede resultar en cargas asimétricas que tienen incidencia en el impulsor, afectando el desempeño de las bombas, frecuencia y modos propios de vibración de la estructura, fatiga de sus componentes, entre otros.

La predicción numérica de estos flujos caracterizados por la formación de vórtices intermitentes, no estacionarios y de separación masiva es un tema importante y a su vez desafiante. Nuestro modelo numérico resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones para fluidos viscosos e incompresibles, utilizando un modelo de turbulencia LES-Smagorinsky. La discretización espacial, se realiza mediante el método de elementos finitos, mientras que la temporal considera un algoritmo iterativo, el método de pasos fraccionarios (“Fractional Step Method”) y se estabiliza con el método de Cálculo por Incrementos Finitos.

En el trabajo se presentan cuatro simulaciones incluyendo el modelo actual de toma y se proponen tres nuevos diseños intentando lograr que el flujo sea lo más laminar posible, mejorando el rendimiento de las bombas.

1. INTRODUCCION:

Las tomas de agua en la región del litoral argentino, son estructuras hidráulicas utilizadas para bombear agua generalmente desde un río y en ciertos casos desde un reservorio, (ver Figura 1).



Figura 1: Toma de agua de ASSA para provisión a la ciudad de Santa Fe.

Un fenómeno común observado tiene relación con la formación de vórtices de mediana y gran intensidad tanto en la superficie libre como en las superficies interiores. En forma general se los encuentra en la vecindad de las tomas o de los cuencos debido a la geometría de los diseños o al alto nivel de circulación en el flujo corriente arriba de la toma. Los vórtices de superficie libre presentan las características de ser intermitentes, serpenteantes y a su vez permiten la entrada de aire bajo determinadas condiciones. Los de volumen interior pueden ser tan o más perjudiciales que los anteriores a los componentes de las bombas. Se suelen presentar como un débil remolino o bien evolucionan como estructuras energéticas y coherentes. Las dos principales razones para la formación de estos vórtices son debido al incremento de la circulación en el flujo que se aproxima a las tomas y a la separación reducida de las paredes de las mismas. Cuando se diseñan tomas con una boca de succión acampanada, también influye la proximidad del piso. Otra observación importante está relacionada con las paredes laterales y el flujo corriente abajo de la toma, que incrementan la intensidad de estos vórtices. El fenómeno de inyección de vórtices junto con la presencia de movimientos arremolinados dentro de la toma de succión, pueden provocar cavitación en el impulsor de la bomba, cargas desiguales, ruido y vibraciones, reduciendo la eficiencia de las mismas. A los efectos de identificar la presencia de estos vórtices y encontrar soluciones eliminándolos o reduciendo su intensidad, se han realizado bastantes estudios de tipo experimental. Si embargo, todavía no se ha logrado un entendimiento preciso del fenómeno y no se ha podido cuantificar tanto la dinámica como la estructura de los principales vórtices, por lo menos los de mayor energía, que son responsables de la mayoría de los problemas identificados en las tomas de agua. Una información cuantitativa sería determinar la intensidad del movimiento arremolinado en diferentes niveles dentro de la columna de succión correspondiente a la toma.

Gran cantidad de estudios realizados al respecto, resultaron exitosos al proponer soluciones eficientes para casos específicos, muchos de los cuales emplearon resultados experimentales, tales como “Particle Image Velocimetry” (PIV) y otras técnicas de visualización como “Laser Induce Fluorescence” (LIF) para observar la evolución de las principales estructuras vorticales, su desarrollo temporal, como así también una serie de fenómenos asociados a ellos como el serpenteo e intermitencia. En los últimos años un método alternativo para observar estos fenómenos son las simulaciones numéricas, además permitiendo un mejor entendimiento de la física asociada a ellos. Las mismas deben ir acompañadas del empleo de algún método turbulento, que permita capturar las estructuras coherentes principales. Uno de los más popularmente empleados es el Reynolds Averaged Stokes Models (RANS) o Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes Models. Previo a estas aplicaciones Constantinescu y Patel ([Constantinescu et al., 1998](#)) desarrollaron un modelo 3D multiblock RANS simulando solamente el flujo en una unidad o toma con un modelo de dos ecuaciones en la vecindad de la pared. Este modelo fue posteriormente validado con un PIV ([Rajendran, 1997](#)). Mas recientemente, [Li et al, 2004](#) utilizó un solver CFD sobre una malla no estructurada para estudiar el flujo sobre la misma geometría que los anteriores. La utilización de mallas híbridas permite mayor flexibilidad en la discretización del dominio, incorporando una mayor cantidad de detalles geométricos, haciendo más real al modelo. Sin embargo, si necesitamos predecir la dinámica y estructura de los principales vórtices, más que simular un flujo medio a tiempo promediado, es necesario usar un solver con un modelo turbulento que pueda predecir y capturar la dinámica incluyendo fenómenos tales como el serpenteo de los vórtices y su intermitencia. Como los modelos RANS y URANS no permite predecir estas características es necesario recurrir a los modelos LES, que producen resultados más precisos y permiten capturar las principales estructuras coherentes. Especialmente cuando se usa con resolutores no disipativos y con mallas lo suficientemente fina. Este tipo de modelo tiene la particularidad de predecir el comportamiento turbulento mejor que los modelos RANS, (ver [Constantinescu et al., 2000, 2004, 2006](#) y [Tokuy T. and Constantinescu G, 2005, 2006](#)). Como estas simulaciones resuelven las estructuras coherentes dinámicamente más importantes, necesitan mejor precisión en el tiempo y requieren mallas mas finas causando que los cálculos sean mucho más costosos desde el punto de vista computacional. Para obtener un cálculo suficientemente preciso, es necesario correr el problema en forma paralela, ya que en forma secuencial, resulta muy oneroso. Nuestro trabajo tiene por finalidad obtener cálculos aproximados hasta definir el diseño más apropiado para luego implementarlo en sistemas paralelos del tipo de Clusters Beowulf o similares.

En este trabajo, analizamos por medio de un modelo de turbulencia LES, la dinámica de las principales estructuras coherentes presentes tanto en la vecindad como en el interior de la toma de agua, para los diferentes tipos de geometrías diseñados y propuestos, los que incluyen dispositivos de supresión de vórtices. En primer lugar validamos el código Tdyn, que es un “problem type” de GiD, (ver [CIMNE.GID, 2009](#)), simulando el flujo de una toma de agua simple, sin ningún tipo de aditamento. Posteriormente analizamos la misma toma pero con un dispositivo muy similar a un vaso invertido que hace las veces de cuenco. La próxima simulación tendrá todos los elementos anteriores con el agregado a la toma, de una entrada acampanada; por último se modelará la misma toma pero con una entrada provista de deflectores curvos que encauzan el flujo hacia su interior, sin incorporarle el vaso invertido. Dicho resolutor numérico utiliza un modelo de elementos finitos para discretizar las ecuaciones de Navier-Stokes filtradas con un modelo de Smagorinsky (“Large Eddy Simulation-LES”), (ver [Smagorinsky, 1963](#) y

2. CONSIDERACIONES GEOMETRICAS:

Las tomas de agua presentan un diseño que consiste de una estructura soportada por pilares con una o más columnas dentro de la cuales podemos encontrar en su interior una bomba de impulsión. Dichas tomas están dispuestas en voladizo sobre el flujo libre del río. Estas estructuras presentan diferentes dimensiones y configuraciones. En este trabajo nos centraremos en analizar la toma con diferentes diseños de la zona de entrada del flujo como de su entorno.

Las dimensiones del dominio utilizado son (ver Figura 2): $L = 16.67 D$ [m], ancho $8.89 D$ [m] y alto $5 D$ [m]. La toma ha sido dispuesta a $7.17 D$ [m] de la superficie de entrada del flujo, en el centro del dominio, a $1.11 D$ [m] de la superficie inferior del mismo, sobresaliendo por sobre la superficie libre, siendo D : diámetro interior de la cañería de la toma. La altura de la entrada a la toma, respecto del fondo depende del nivel de agua de río, variable según la época del año.

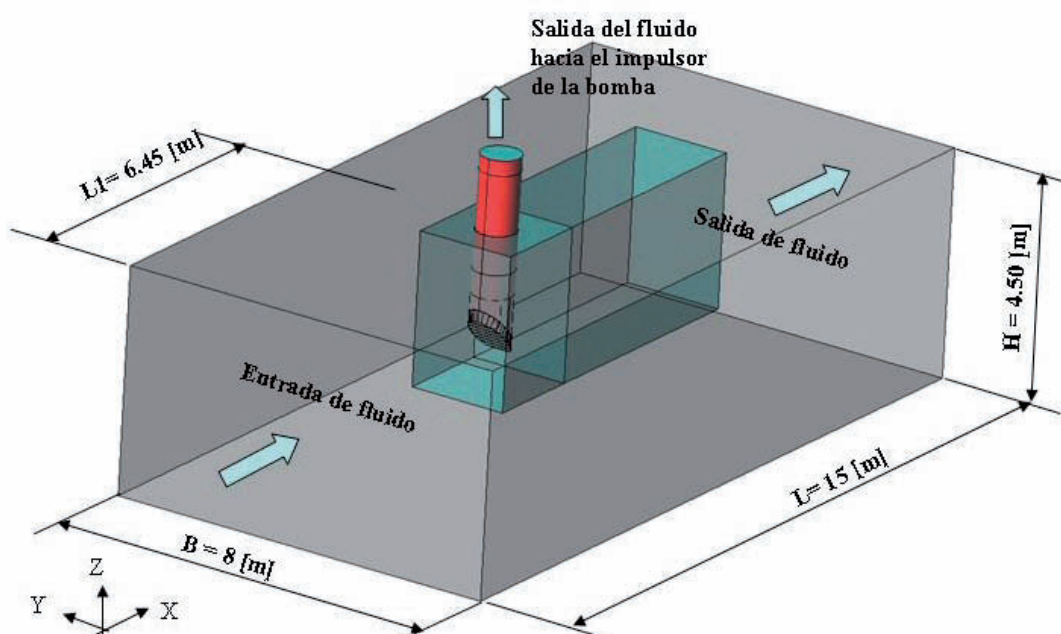


Figura 2: Dimensiones del dominio de simulación.

La distancia desde el centro de la cañería a las paredes laterales del dominio han sido ajustadas a un valor ($3.94 D$ [m]), lo más óptimo posible, evitando interferencias de dichas paredes con el flujo sobre la toma. Las características de los diferentes diseños de toma los podemos resumir de la siguiente manera:

Se han simulado cuatro tipos diferentes de tomas:

1. Toma actual sin cuenco
2. Toma actual con cuenco
3. Toma con entrada acampanada y cuenco
4. Toma con deflectores sin cuenco

En la Figura 3 podemos observar las dimensiones principales de cada diseño, con el diámetro de la toma igual para todos, variando las longitudes en función del tipo de entrada. Las dimensiones del cuenco son variables según se utilice la toma actual o la acampanada. En el caso de la toma actual utilizamos un cuenco con $D_c = 1.89 D$ [m] y en caso de la acampanada $D_c = 2.22 D$ [m], representa el diámetro máximo de la campana.

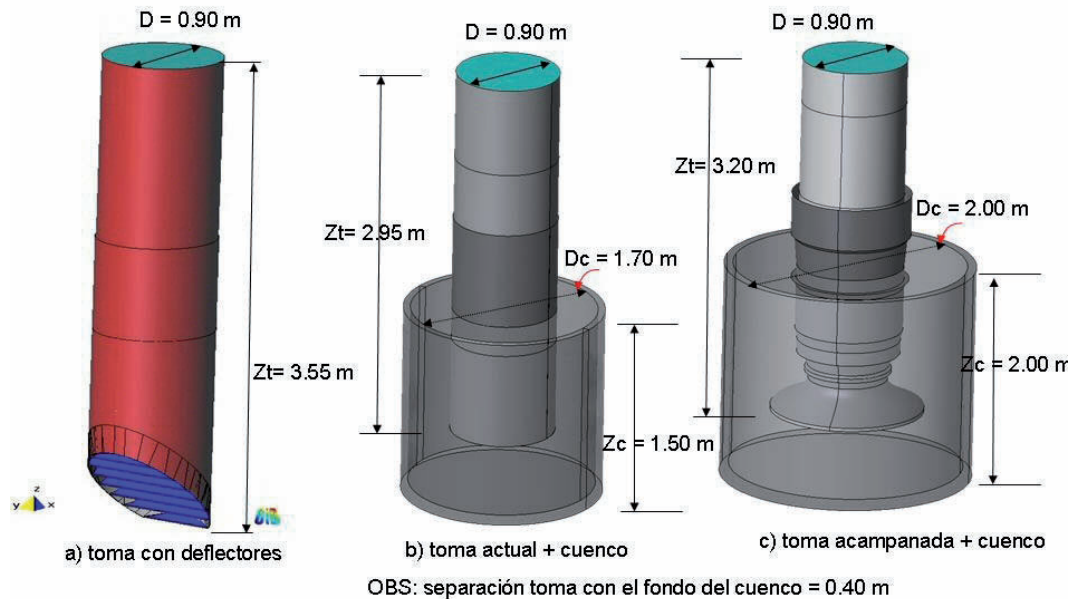


Figura 3: Dimensiones principales de los diferentes diseños de toma.

La descarga a través de la sección de entrada al dominio, en todos los casos de simulación es de 36 [m³/seg.] (0.60 [m³/min.]), es decir una velocidad de 1.0 [m/seg.]. Para la determinación del número de Reynolds, Re hemos tomado, de acuerdo con la “International Conference on Civil and Environmental Engineering, 2006”, la velocidad media de entrada, U a la toma, considerándola como la longitud de escala para los diferentes tipos de parámetros. Con esta adimensionalización, los valores del número de Reynolds, Re , para los diferentes diseños son mostrados por la [Tabla 1](#).

MODELO	VELOCIDAD EN LA ENTRADA DE LA TOMA [m/seg.]	NUMERO DE REYNOLDS Re
Toma actual s/cuenco	0.974	876600
Toma actual con cuenco	0.605	544050
Toma acampanada con cuenco	1.437	1293300
Toma con deflectores	1.106	813746

Tabla 1: Valores del modulo de la velocidad en la superficie de entrada a la toma

3. DISCRETIZACION DEL DOMINIO:

Si bien no hemos utilizado una malla lo suficientemente fina, la hemos ajustado a la capacidad de los recursos disponibles. Para la simulación con la Toma actual sin babero la misma consta de ~1579000 tetraedros y ~277500 nodos; en el caso de la Toma actual con cuenco ~1567000 tetraedros y ~275000 nodos; para el diseño con toma acampanada y cuenco ~2194000 tetraedros y ~395000 nodos y en el caso de deflectores ~1511000 tetraedros y ~267000 nodos. En todos los casos se ha tratado de refinar las paredes de la toma como así también del diseño de entrada a la misma. Algunas secciones representativas de la malla son mostradas en la [Figura 4 y 5](#).

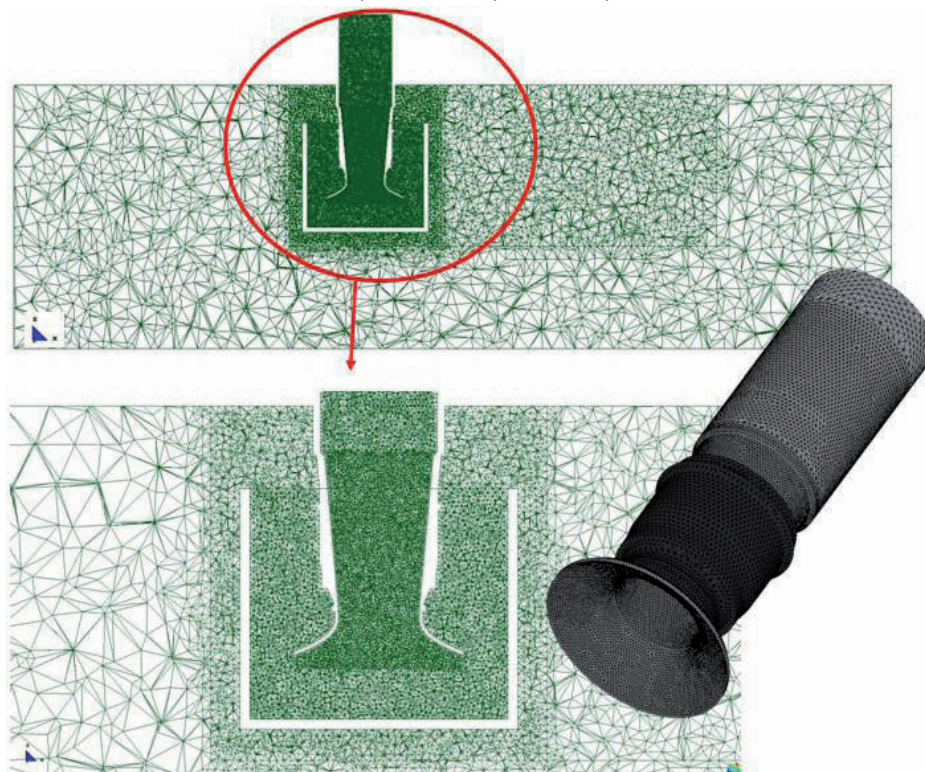


Figura 4: Dcretización del dominio. Malla de un corte transversal (plano Z-X y Z-Y). Visualización del refinamiento en la pared de la toma

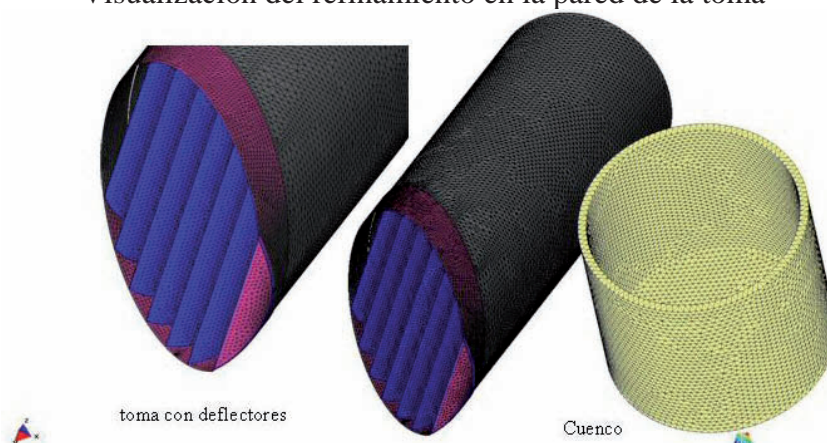


Figura 5: Dcretización de la toma y el cuenco.

4. DESCRIPCION MATEMATICA DEL MODELO – RESOLUCION NUMERICA

Las simulaciones planteadas han sido resueltas con el módulo de cálculo **Tdyn** de **GiD**. El mismo resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones para un fluido viscoso e incompresible o ligeramente compresible en un dominio Ω y en un intervalo de tiempo $(0, t)$:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right) + \nabla p - \nabla (u \nabla u) = \rho f, \quad \text{en } \Omega \times (0, t) \quad (1)$$

$$\nabla u = 0 \quad \text{en } \Omega \times (0, t),$$

donde $\mathbf{u} = u(x, t)$ denota el vector velocidad, $\mathbf{p} = p(x, t)$ el campo de presiones, ρ la densidad (constante), m la viscosidad dinámica del fluido y f la aceleración volumétrica. Las ecuaciones de arriba necesitan ser combinadas con las condiciones de borde adecuadas que en nuestro caso consisten en una condición de velocidad impuesta en la entrada igual a 1[m/s] (lo usual en el caso del río Paraná) para la componente en la dirección de la corriente (eje X) y nulas en

las otras dos. La condición sobre las paredes del dominio es de deslizamiento (*slip*) y en la salida una condición de presión nula. En la toma, adoptamos una condición de no deslizamiento (*no-slip*) con velocidad nula en las paredes y una condición de presión dinámica negativa (succión a -1.0 [Pa]) a la salida de la misma (entrada a la admisión de la bomba), ajustando este valor hasta alcanzar el caudal de la bomba de impulsión (05-0.6 [m³/min.]). La discretización espacial de las ecuaciones de Navier–Stokes se realiza mediante el método de elementos finitos, mientras que para la temporal debe considerarse un algoritmo iterativo tal como el método de pasos fraccionarios (Fractional Step Method) de dos pasos (implícito). Los problemas con convección dominante, como el que se está analizando, son estabilizados por el llamado método de “Cálculo de Incrementos Finitos”, ver Oñate, 1999 y García et al, 1998)

El refinamiento de la malla en las paredes tiene por finalidad capturar las estructuras coherentes generadas en las mismas o bien desprendimientos del flujo. Los puntos fuera de las fronteras sólidas están situados a una distancia tal que $y^+ \approx 50-65$, donde y^+ fue estimado con el número de Reynolds físico local, bajo la hipótesis de un flujo completamente turbulento, ver notas Storti, 2007. Si bien la discretización no resulta lo suficientemente fina para la resolución, en la capa límite, de las estructuras más pequeñas, intentamos capturar aquellas de mayor dimensión que puedan influir en el flujo entrante al impulsor de la bomba.

5. MODELO DE TURBULENCIA: MODELO ALGEBRAICO LES-SMAGORINSKY

El tratamiento de la turbulencia usado en este caso corresponde a LES-Smagorinsky, (ver Smagorinsky, 1963, Rodi et al, 1980 y Patel et al, 1984), el cual está basado en la idea de un gran número de simulaciones de vórtices (LES–Large Eddy Simulations) en el que las estructuras grandes son modeladas directamente dentro de la malla computacional, aunque las pequeñas son modeladas con el concepto de viscosidad de remolino. Las tensiones de Reynolds son escritas en términos de la energía cinética de la turbulencia, k , y la viscosidad de remolino como:

$$\overline{u'_i u'_i} = \frac{2}{3} \kappa \delta_{ij} - 2\nu \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

donde:

$$\underline{\varepsilon} = \frac{1}{2} \left(\underline{\nabla} \cdot \underline{u}' + (\underline{\nabla} \cdot \underline{u}')^T \right) \quad (3)$$

La expresión algebraica para la viscosidad turbulenta en cada punto del dominio es la siguiente:

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho} = Ch e^2 \sqrt{\varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}} \quad (4)$$

donde C es una constante del orden de 0.01, y h es el tamaño del elemento.

6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El objetivo del presente trabajo consiste en capturar las principales estructuras coherentes presentes dentro o en la vecindad de las tomas y analizar la influencia de los diferentes diseños respecto a la formación de las mismas. En esta primera aproximación nos valemos de las herramientas de GiD y Tdyn para obtener resultados, quedando para trabajos futuros obtener nuevos parámetros que puedan predecir su presencia y poder validar las simulaciones con ensayos experimentales, permitiendo evaluar la performance del modelo LES.

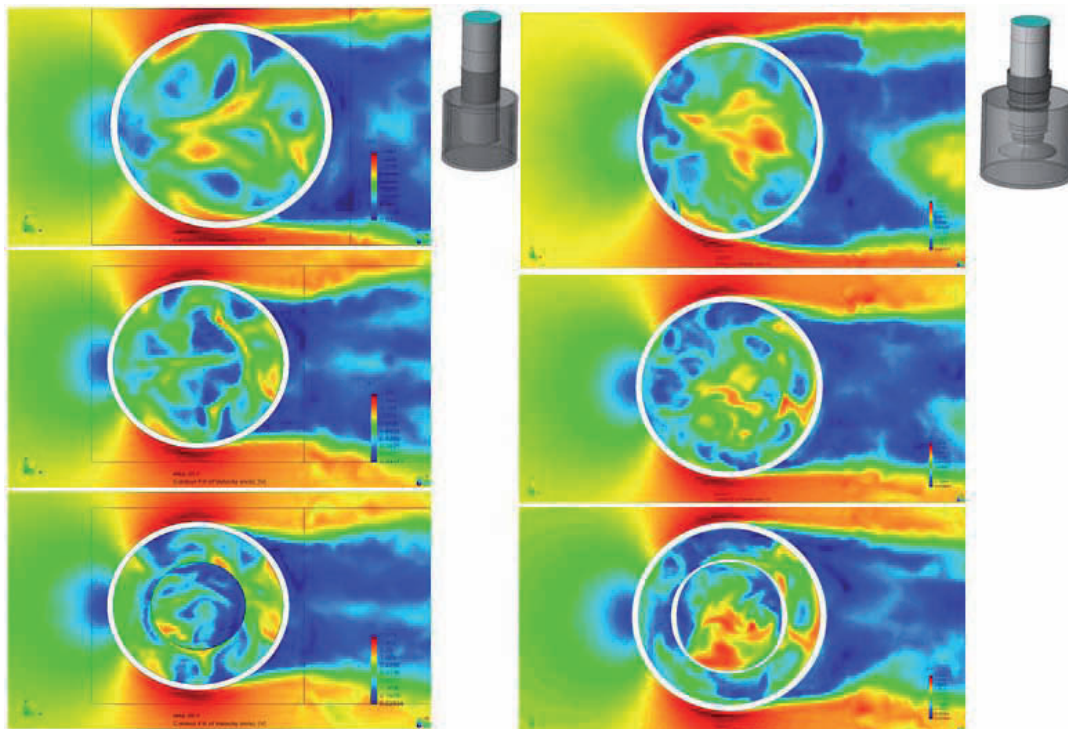


Figura 6: Contornos rellenos del módulo de la velocidad en el cuenco y en la superficie de entrada a la toma.

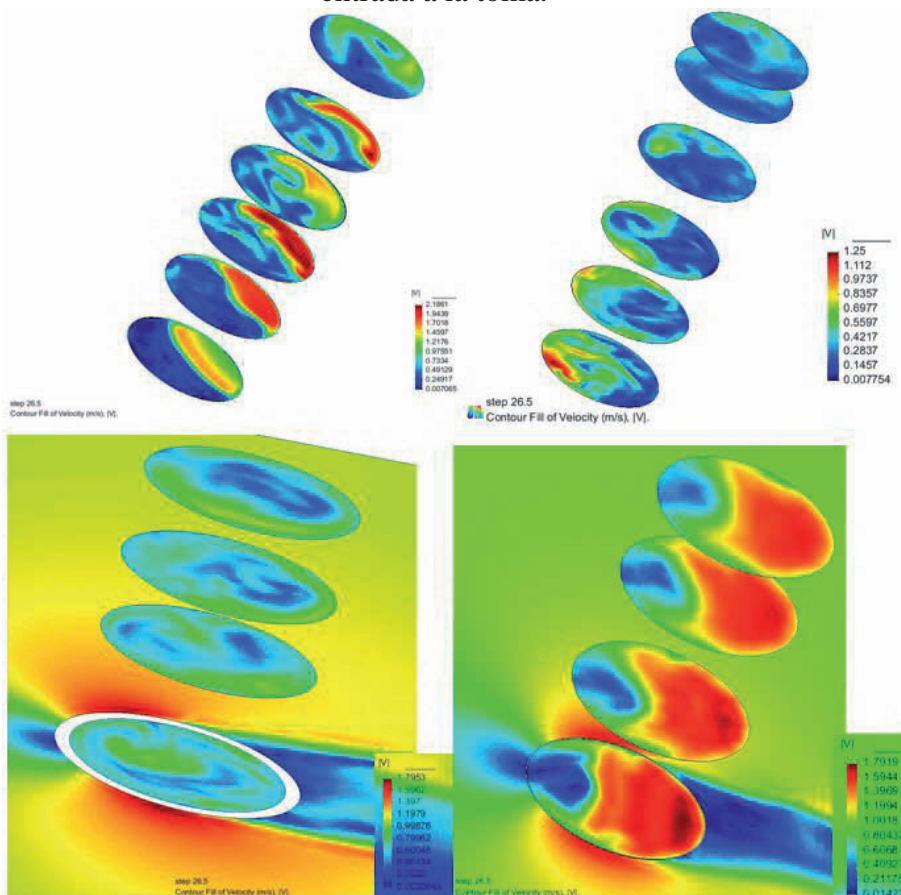


Figura 7: Contornos rellenos del módulo de la velocidad en diferentes cortes de la toma. Arriba izq.: toma común sin cuenco. Arriba der.: toma común con cuenco. Abajo izq.: toma abocinada con cuenco. Abajo der.: toma con deflectores.

Las Figuras 6 y 7, nos muestran el valor absoluto de la velocidad en los diferentes diseños de tomas como así también en los cuencos correspondientes, mediante cortes transversales (plano XY). Podemos observar las inestabilidades tanto del fondo del cuenco como en la superficie de entrada a la toma. De las mismas podemos inferir una interacción entre el fondo del cuenco y la boca de entrada a la toma, siendo necesario estudiar la influencia de la separación entre estas dos superficies. No queda descartada la influencia del diámetro del cuenco respecto a la generación de inestabilidades. Otro parámetro que tiene importancia sobre el campo de velocidad es el diseño de la boca de la toma.

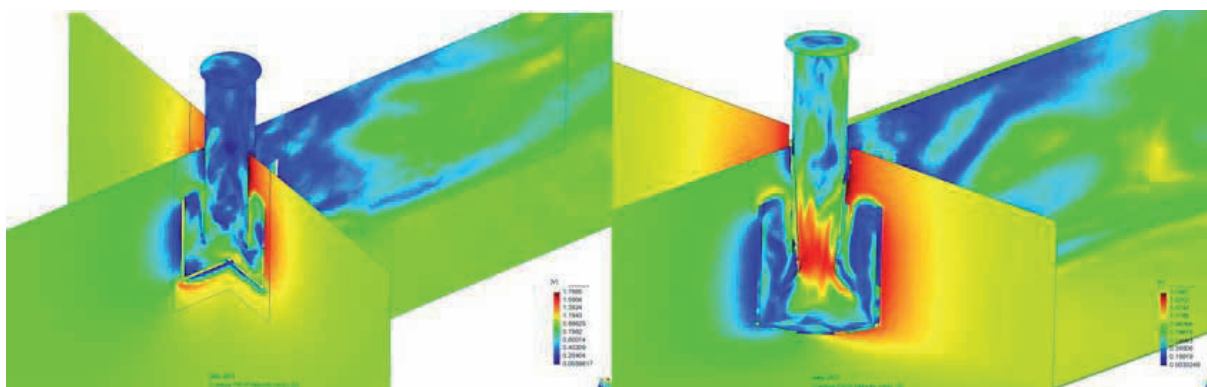


Figura 8: Contornos rellenos del valor absoluto de la velocidad en dos planos de cortes ortogonales.

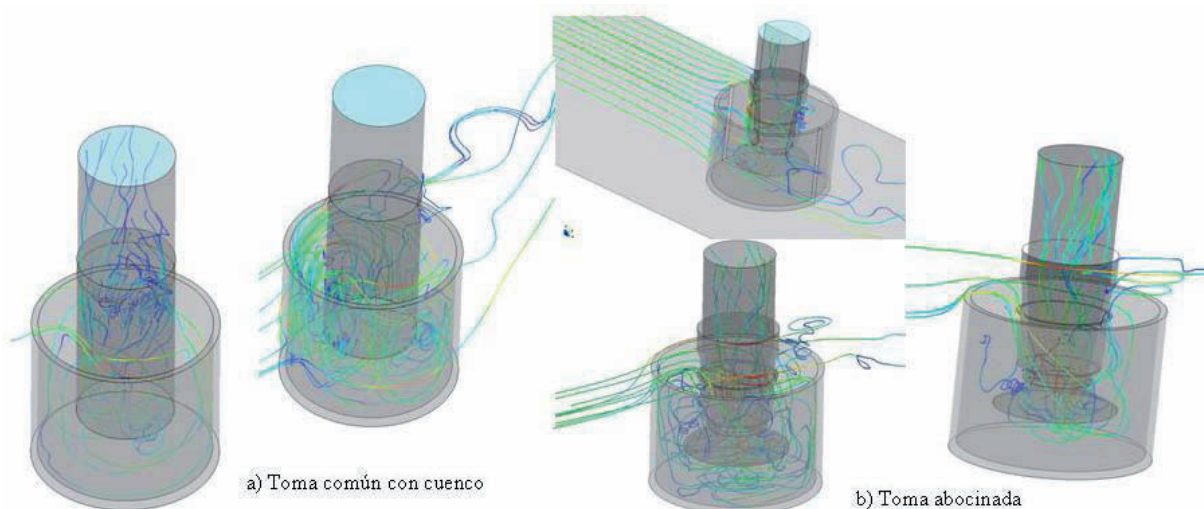


Figura 9: Líneas de corriente (instantáneas). Permiten observar las inestabilidades, en especial los vórtices de superficie y en el fondo del cuenco.

En la Figura 9 podemos observar un detalle de las líneas de corriente dentro del cuenco y de la toma correspondiente a los dos modelos con dicho cuenco. Podemos visualizar vórtices y estructuras ligadas al piso del mismo, que penetran en la toma y posiblemente se difundan a medida que ascienden. Otros son arrastrados por el flujo y se manifiestan en la parte de atrás, siendo visible una estructura bastante importante en las inmediaciones de la superficie libre. La traza del flujo de vórtices verticales en el cuenco y en la toma, tienen la forma de líneas en espiral, las cuales se observan en la mencionada figura. Dichas estructuras representan las partículas de fluido que se desplazan de esta manera, ya sea desde la superficie libre hacia el interior del cuenco o bien hacia la superficie libre, rotando alrededor del eje del vórtice en múltiples ciclos. En trabajos futuros se intentará medir el cambio en forma radial como

también en la dirección axial (movimiento del núcleo). En la parte superior se pueden observar líneas bastante paralelas, lo que sería beneficioso para la bomba impulsora.

Entre los principales mecanismos involucrados en la formación de los vórtices, podemos mencionar:

- Amplificación de la vorticidad en el flujo de aproximación, cuando las líneas de vórtices son convectadas hacia la boca de la toma, ver Figura 10.
- El segundo mecanismo se produce como consecuencia de la variación de la circulación a lo largo de la entrada formándose un “vórtice de arrastre” (“trailing vórtice”). En este caso el mismo puede llegar a desarrollarse dentro del flujo irrotacional, corriente arriba de la toma y no depende de la vorticidad de la zona.
- Aparentemente, la intensidad del sistema de vórtices mencionados anteriormente, se incrementa con la disminución de la distancia desde la superficie del cuenco.

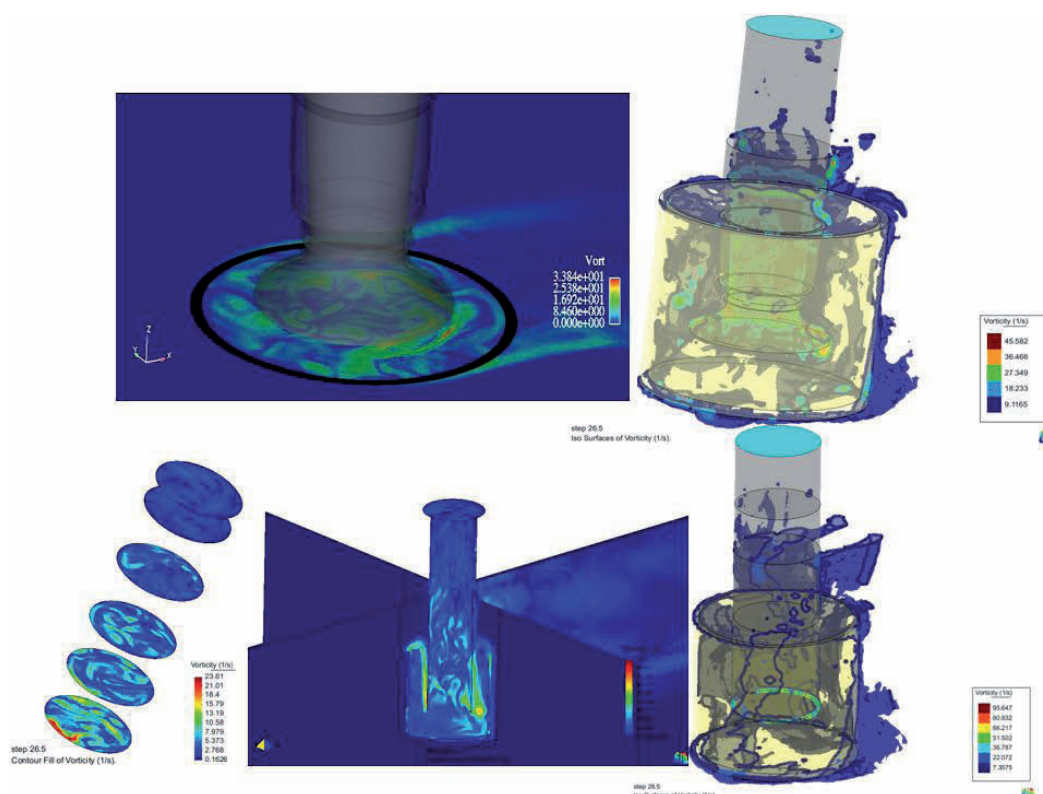


Figura 10: isosuperficies y contornos rellenos de vorticidad en la proximidad de la boca y en el fondo del cuenco.

La Figura 10 visualiza la vorticidad para los modelos con cuenco, en ella podemos ver que en la vecindad de la toma común los valores de este parámetro en la pared son casi el doble del correspondiente a la toma abocinada, mostrando incluso mayor inestabilidad en la superficie de entrada a la toma.

Un punto importante a mencionar, es que aunque las interacciones de la interfase aire-agua pueden llegar a tener influencia con la naturaleza de los vórtices de superficie libre, creemos que dicha interacción no es un factor crítico que tenga relación con la ocurrencia de vórtices en la entrada de la toma, de allí la condición de borde aplicada. Por lo tanto en esta primera instancia del estudio no se ha tenido en cuenta la condición de superficie libre.

En la Figura 11 observamos las trazas de corriente en el fondo del cuenco y en un plano situado a 5 [cm] de la toma abocinada, para el tiempo $t=26.5$ [seg.], podemos observar la estructuras coherentes que se forman. Se aprecia una gran actividad en el plano próximo a la boca de la toma. Además se visualiza una actividad importante en el lado corriente arriba, es

decir por donde ingresa el flujo y más intensa aún en el centro donde se encuentra la boca de la toma, disminuyendo en intensidad corriente abajo. Resultará importante en trabajos futuros determinar la evolución de estos vórtices y como varía su intensidad y dimensiones. Para ello nos tendremos que valer de parámetros tales como el radio medio y la circulación, agregándole la evolución del núcleo, con el objetivo de establecer si se estos se disipan o llegan a la zona del impulsor de la bomba.

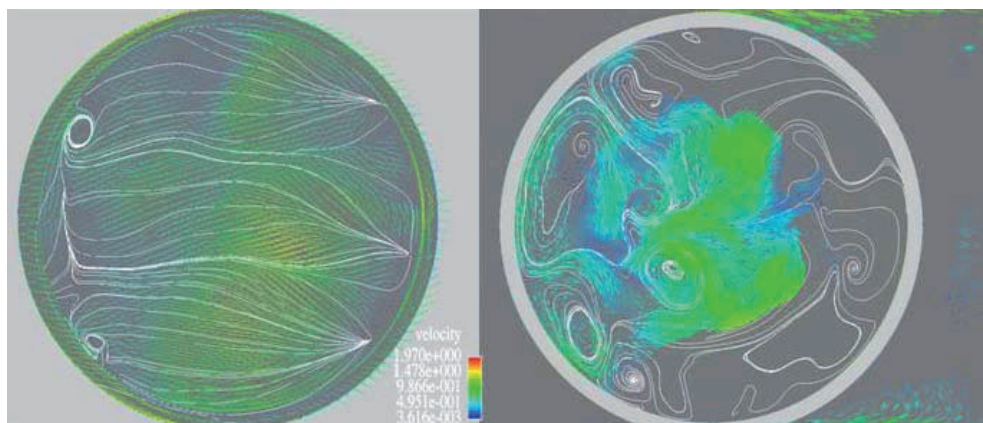


Figura 11: Líneas de traza, sobre el fondo del cuenco y en un plano situado a una distancia de 5 [cm] de la toma abocinada, visualizando los vórtices en el instante $t=26.5$ [seg.]

PARED TOMA								
MODELOS	FUERZA PRESION X	FUERZAS VISC X	FUERZAS TOTALES X	CD	FUERZA PRESION Y	FUERZAS VISC Y	FUERZAS TOTALES Y	CY
TOMA COMUN	0,1428	0,0104	0,1532	0,1167	-0,2311	0,0012	-0,2299	-0,1751
TOMA ACAMPANADA	-0,0902	0,0094	-0,0808	-0,0567	-0,0168	0,0023	-0,0145	-0,0102
TOMA COMUN SIN CUENCO	0,5526	0,0092	0,5618	0,4280	0,0024	-0,0004	0,0020	0,0015
TOMA CON DEFLECTORES	2,4558	0,0115	2,4673	1,8102	-0,2072	-0,0001	-0,2073	-0,1521
PARED CUENCO - TOMAS CON CUENCO								
MODELOS	FUERZA PRESION X	FUERZAS VISC X	FUERZAS TOTALES X	CD	FUERZA PRESION Y	FUERZAS VISC Y	FUERZAS TOTALES Y	CY
TOMA COMUN	0,7261	0,0104	0,7365	0,5776	0,2195	-0,0019	0,2176	0,1707
TOMA ACAMPANADA	1,5364	0,0164	1,5528	0,7764	-0,0985	0,0006	-0,0979	-0,0490

Tabla 1: Cálculo de Fuerzas sobre la toma y el cuenco. Determinación del coeficiente de arrastre y lateral.

La Tabla 1 resume las fuerzas de presión y viscosas, tanto en la pared del cuenco como de las tomas, para luego calcular los coeficientes de arrastre y lateral correspondientes. Estos parámetros son importantes para determinar los esfuerzos y tensiones sobre los diferentes componentes estructurales. Podemos observar un valor del coeficiente de arrastre relativamente alto en la toma con deflectores, unas cuatro veces inferior en la toma común sin cuenco y valores pequeños para las tomas con cuenco. Los valores mayores para estos últimos los encontramos sobre la superficie del cuenco, por lo que resultará importante diseñar a los mismos de tal manera que no tengan influencia sobre las tomas.

7. CONCLUSIONES:

En este trabajo hemos simulado una serie de modelos, con el objetivo de establecer un prediseño de posibles desarrollos de toma de agua, que en un futuro serán aplicadas tanto para el abastecimiento de las ciudades más importantes de la provincia de Santa Fe, que se encuentren sobre la margen de los ríos importantes, como así también de otras localidades del

país que cumplan con este requisito. Además, será posible aplicar este sistema a una serie de acueductos que en un futuro venidero se construirán en la provincia, abasteciendo las localidades del interior.

Si bien el trabajo es del tipo cualitativo, desarrollos posibles del mismo en un futuro estarán enfocados a obtener parámetros medibles tanto en forma experimental como numérica de las estructuras observadas y de otras que sean necesarias para la investigación correspondiente.

De todos los modelos analizados, los que incluyen los cuencos, presentan los mejores resultados, quedando por determinar las dimensiones más adecuadas para cada instalación. De los dos modelos con cuenco, el correspondiente a la boca de entrada abocinada, presenta los resultados más favorables para la entrada al impulsor de la bomba. El modelo con deflectores (ver Bacolla, Franck, et al, 2004), si bien canaliza en forma adecuada el flujo hacia el impulsor presenta cierta asimetría y velocidades mayores a los anteriores.

De las simulaciones desarrolladas, podemos establecer un conjunto de análisis a futuro, a saber:

- Proponer nuevos diseños de tomas.
- Mayor discretización del dominio de cálculo, refinando cerca de las paredes, sobre todo para obtener una mejor resolución de las funciones de pared.
- Simular un modelo experimental que valide los resultados obtenidos.
- Comparar estadística de LES con datos experimentales.
- Visualizar la dinámica de los vórtices principales y comprender el mecanismo de interacción entre ellos.
- Análisis de la influencia de la distancia de separación entre el fondo del cuenco y la boca de succión.
- Caracterizar su no estacionariedad en términos de cambios de forma, posición e intensidad.
- Análisis espectral que contenga estas estructuras y decaimiento de los remolinos dentro de la columna de la toma.
- Desarrollo de un modelo con toda la estructura del sistema de bombeo, incluyendo el conjunto de toma de agua, además de las pilas de sustentación de la instalación.
- Cálculo estructural estático y dinámico de los componentes, teniendo en cuenta tensiones y desplazamientos, junto con un análisis de frecuencia y modos propios.

8. AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo se ha llevado a cabo gracias al Aula FICH-CIMNE de la UNL Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) y del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), a la empresa Compass través de los paquetes de software GiD y Tdyn, necesarios para el cálculo. También queremos agradecer a Julio García y Ramón Ribó por nuestras permanentes consultas. A Sergio Idelsohn y a Alfredo Huespe, director del proyecto PICT 2005 N° 34273 BID 1728 OC/AR por su aporte incondicional a este trabajo y al proyecto CAI+D 2009, junto con el convenio firmado por la U.N.L. y la empresa ASSA (Aguas Santafesinas S.A.).

9. REFERENCIAS:

- Bacolla C., Dabin A. y Franck G., Simulación Numérica de Tomas de Agua en Muelles, Mecánica Computacional Vol. XXIII pp. 2009-2030, ENIEF 2004 CNEA Bariloche-Argentina, 2004.
- Bacolla C., Dabin A. y Franck G., Use GiD and Tdyn (CFD) to model flow at pump intakes in freight platforms, Conference GiD 2004, Barcelona, Spain, 2004.
- Constantinescu, S.G. and Patel, V.C., 2000, "Role of turbulence model in prediction of pump-bay vortices," ASCE J. of Hydr. Engrg, 126:5, pp 387-392.
- Constantinescu, S.G. and Patel, V.C., 1998, "Numerical model for simulation of pump-intake flow and vortices," ASCE J. Hydr. Engineering, 124:2, pp 123-134.
- García, J., Oñate, R., Sierra, H., Sacco, C. and Idelsohn, S. " A Stabilised Numerical Method for Análisis of Ship Hydrodynamics". Proceeding Eccomas Conference on CFD, 7-11 September 1998, Athens, John Wiley, 1998.
- GID: The Personal Pre and Postprocessor, International, International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), URL: <http://gid.cimne.upc.es>, 2009
- CIMNE.GID online support. <http://www.gidhome.com/support>, 2009
- Li, S., Lai, Y., Weber, L., Silva, J.M. and Patel, V.C., 2004, "Validation of a 3D numerical model for water pump-intakes." J. Hydr. Research, 42:3, pp 282-292.
- Oñate, E. Astabilised finite element method for incompressible viscous flows using a finite increment calculus formulation. Research report No. 150, CIMNE, Barcelona, January, 1999.
- Rodi, W., Turbulence models and their application in hydraulics – a state of the art review. Institut für Hydromechanik and Sonderforschungsbereich, University of Karlsruhe, Germany, 1980.
- Smagorinsky, J. General Circulation model of the atmosphere. Mon. Weather Rev., 91:99-164, 1963.
- Patel, V. C., Rodi, W. & Scheurer, G., Turbulence models for near-wall and low –Reynolds number flows: A review, AIAA J, Vol. 23, Nro.9, p1308, 1984.
- Storti, M, PETSc-FEM validation, Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería (CIMEC), INTEC(CONICET-UNL) Report, 2007.
- Tdyn – Environment for Multi-Physics simulation, including Fluid Dynamics, Turbulence, Heat Transfers, Advection of Species, Structural Mechanics, Free Surface and user defined PDE solvers. COMPASS Ingeniería y Sistemas S.A. www.compassis.com 9th revision Tdyn 5.9, 2009.
- Tokyay T. and Constantinescu G., Investigation of coherent structures in pump intake flows by Large Eddy Simulation model, International Conference on Civil and Environmental Engineering, 2006.
- Tokyay, T. E. and Constantinescu S. G., 2005, "LES and RANS simulations of flow in a realistic pump-intake." *World Water and Environmental Resources Congress*, EWRI, Alaska, 2005