

Caracterización de Flujos Viscosos Bidimensionales sin Influencia de Superficies Libres, Parte I: Experimentación

J. Marín¹, D. Güingla², N. Muñoz³

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil

jrmarin@espol.edu.ec¹, dguingla@espol.edu.ec², nmunoz@espol.edu.ec³

Resumen

Para estudiar las características del flujo viscoso alrededor de cuerpos bidimensionales, sin influencia de superficies libres, se construyeron modelos de pared vertical con la forma de tres planos de flotación de un buque pesquero, y, dos secciones de una tobera, con longitud máxima de 40 cm, y altura del agua de alrededor de 10 cm. Se colocaron los modelos en un canal de circulación de agua, y se midieron las componentes del campo de velocidad en el plano, utilizando un anemómetro que emplea el efecto Laser Doppler, marca Dantec Dynamics. Se probaron diferentes velocidades hasta 0.6 m/seg, que correspondía a un número de Reynolds de 2.70E5, que puede considerarse como región Turbulenta. Las mediciones se realizaron a 3.5 cm por encima del fondo, para evitar reflexiones excesivas de los rayos Láser. Se pudo observar las regiones de Estela en la popa de los modelos, y la influencia que tiene la velocidad sobre ellas. No se encontró evidencia sobre la influencia de la presencia de los codillos en la generación de vórtices en las secciones de la tobera. También, se pudo relacionar la proporción de las formas con la mayor ó menor influencia sobre el tamaño de la estela.

Palabras Claves: Flujo Viscoso 2D, Anemometría Laser Doppler

Abstract

To study the characteristics of viscous flow around two dimensional bodies, without influence of free surfaces, vertical walled models were constructed three water planes of a vessel, and two sections of a nozzle, with a maximum length of 40 cm and height of water of about 10 cm. Models were placed in a water circulation channel, and there were measured the components of the velocity field in the plane, using an anemometer that uses laser Doppler effect, brand Dantec Dynamics. They were tested at different speeds up to 0.6 m / sec, which corresponded to a Reynolds number of 2.70E5, which can be regarded as a turbulent region. The measurements were made at 3.5 cm above the bottom, to prevent excessive reflections of the laser. One could observe the regions of wake at the stern of the models, and the influence of speed on them. We found no evidence on the influence of the presence of the knuckle on the generation of vortices in sections of the nozzle. It was also possible to relate the proportion of forms with greater or lesser influence on size the wake.

Keywords: 2D Viscous Flow, Laser Doppler anemometry

1. Introducción

En el campo de la Ingeniería Naval, es común enfrentarse con el problema de flujos con fluidos viscosos alrededor de superficies sólidas. Se forma una región en contacto con la superficie sólida denominada Capa Límite, fuera de la cual el flujo puede estudiarse como Potencial, [1] y [2]. En la región inicial de la capa límite, se observa un comportamiento en forma de trayectorias que no se cruzan, Laminar, y luego de una región de Transición, se encuentra una zona en que dichas capas se separan del cuerpo, con formación de vórtices. Esta última región, denominada Turbulenta, es de mucho interés dado que produce una reducción en presión, lo que a

su vez lleva a un incremento en resistencia ó arrastre del buque, componente de la fuerza en dirección del flujo, [3]. Además en el caso del casco, en una zona como ésta debe operar la hélice propulsora del buque, con la posibilidad de que las fuerzas hidrodinámicas generadas causen vibración, [4].

Dada la complejidad del problema de flujo viscoso y la poca experiencia en su análisis en el ámbito ecuatoriano, se desarrolló un programa experimental para avanzar en etapas: primero se va a determinar el campo de velocidades alrededor de cuerpos bidimensionales. El objetivo del presente trabajo es el determinar experimentalmente las características principales de los campos de velocidad de flujos

viscosos bidimensionales. Luego, se podrían realizar cálculos numéricos que podrían ser ajustados de acuerdo a los resultados de la presente experiencia.

2. Descripción de los Flujos

El interés último es la investigación de flujos tridimensionales alrededor de buques, sin embargo, como una etapa de iniciación, se consideró prudente empezar por trabajar con cuerpos bidimensionales. Las formas de las secciones analizadas corresponden a tres líneas de agua ó flotaciones de un buque, [2], y, a la sección de una tobera para propulsión de buques, [3]. Las Líneas de Formas corresponden a las de un buque pesquero, y para el caso de la tobera, se construyeron dos modelos, uno de curva continua y otro formado por segmentos de recta, para investigar la influencia de discontinuidades en la generación de vórtices, véase la Figura 1.



Figura 1.- Plano de flotación de un buque y Tobera de construcción local formada con segmentos

3. Equipo y técnica utilizados

Para desarrollar las pruebas se construyeron modelos con paredes verticales, y se colocaron en un tanque de circulación de agua, véase la Figura 2. El material de construcción fue Cedro de Castilla, y los modelos recibieron un tratamiento final con laca, de manera que la rugosidad es bien baja. De manera que el flujo alrededor del modelo pueda considerarse como bidimensional. Dado que los efectos gravitacionales alteraban la superficie libre, y que la

región cercana al fondo está afectada por la fricción con dicha superficie, se realizaron las mediciones a una cierta distancia por encima del fondo. Además de esta forma se redujo las reflexiones de los rayos en la superficie del agua, y se disminuyeron los peligros de daños en los ojos de los investigadores.

Se empleó un equipo no intrusivo de anemometría, [5], que emplea el efecto Laser Doppler (LDA), marca Dantec Dynamics, con capacidad para realizar mediciones de dos componentes de la velocidad, [6]. El equipo cuenta con una probeta desde la cual se originan dos rayos Láser, en cuya intersección se realiza la medición de la componente de la velocidad. La distancia desde la probeta al punto de medición es de 40 cm, y se colocó dicho instrumento por encima del tanque de agua, de tal manera que el punto de medición esté 3.5 cm encima del fondo; véase la Figura 3.

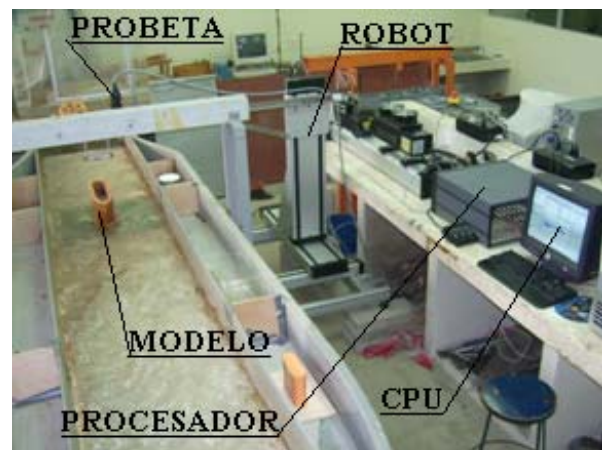


Figura 2.- Tanque de circulación y equipo para medición de velocidades

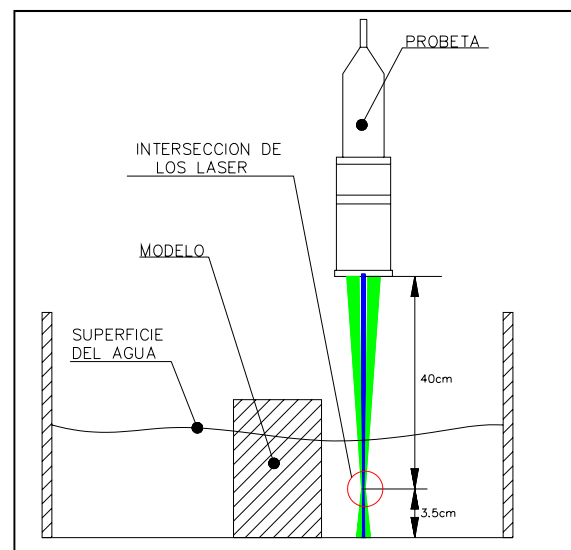


Figura 3.- Punto de medición

El equipo de medición cuenta también con un sistema de recorrido (robot) para ubicar la probeta en

diferentes puntos, a fin de preparar un campo de mediciones. El usuario debe empezar por definir una malla de puntos que va a ser seguida por el sistema de recorrido para realizar las mediciones.

En la siguiente figura se presentan las mallas que establecieron las posiciones para realizar las mediciones alrededor de los Planos de flotación. Dado que dichos cuerpos son simétricos, únicamente se seleccionaron puntos de un lado del modelo. Además, dado que en la zona de Poca era la zona de mayor interés, en dicha región, se incluyeron una mayor cantidad de puntos de medición.

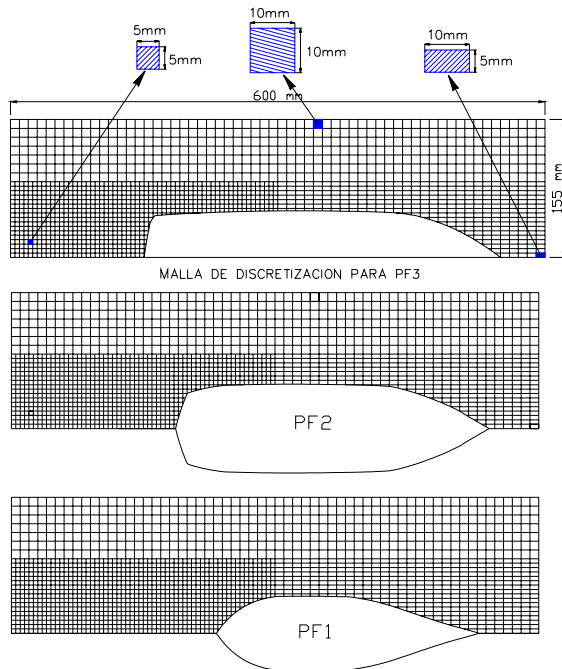


Figura 4.- Ubicación de los puntos de medición del campo de flujo alrededor de los Planos de Flotación

En el caso de la sección de la tobera, dado que no tiene plano de simetría fue necesario realizar mediciones en ambos lados del modelo. En total se especificaron 1676 para la sección continua, y, 1672, para el caso segmentado:

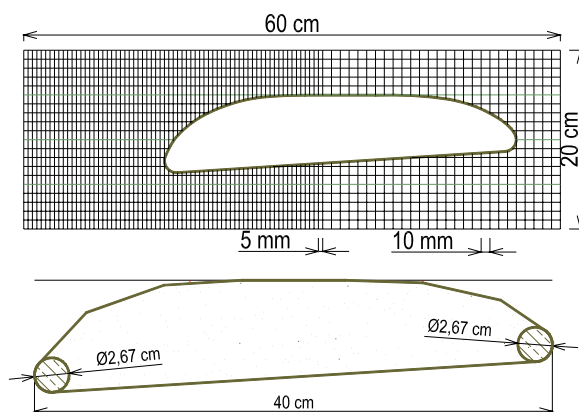


Figura 5.- Ubicación de los puntos de medición del campo de flujo alrededor de la sección continua

En la siguiente figura se muestra una pantalla típica de control de las mediciones. Se nota el histograma de las mediciones para las dos componentes y los vectores con los valores medios de las mediciones ya efectuadas.

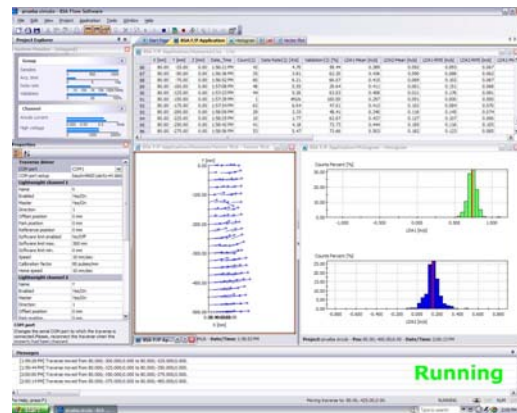


Figura 6.- Pantalla típica para control de las mediciones

A continuación se presentan las condiciones para cada una de las pruebas desarrolladas, donde: U es la velocidad media del flujo libre, T es la temperatura del agua, Re es el correspondiente número de Reynolds, y, h_a es la altura promedio de la corriente de agua que circulaba alrededor del modelo:

Tabla 1.- Condiciones de las pruebas con modelos de Planos de Flotación

Modelo	U , m/s	T , °C	Re	h_a , cm
PF1	0.04	27	1.41E4	8.50
	0.20	26	6.87E4	8.50
	0.40	26	1.37E5	9.00
	0.60	25	2.02E5	10.00
PF2	0.04	28	1.72E4	8.50
	0.20	26	8.25E4	8.50
	0.40	25	1.61E5	9.00
	0.60	25	2.42E5	10.00
PF3	0.04	28	1.90E4	8.50
	0.20	26	9.20E4	8.50
	0.40	25	1.80E5	9.00
	0.60	25	2.70E5	10.00

Tabla 2.- Condiciones de las pruebas con modelo de Sección de la Tobera

Modelo	U , m/s	T , °C	Re	h_a , cm
Continuo	0.15	26	6.74E4	11.00
	0.25	26	1.12E5	10.00
	0.45	26	2.02E5	8.00
	0.60	27	2.69E5	8.00
Segment.	0.15	26	6.74E4	11.00
	0.25	25	1.12E5	10.00
	0.45	26	2.02E5	8.00
	0.60	26	2.69E5	8.00



Figura 7.- Flujos alrededor de Plano de flotación (vista inferior) y Sección Segmentada (vista superior)

Las velocidades mencionadas en las tablas 1 y 2 son de referencia y se determinaron tomando el tiempo que le tomaba a un flotador en avanzar una distancia conocida. En la capa en donde se realizaron las mediciones, 3.5 cm por encima del fondo, los valores de velocidad eran algo menores.

Debido a las características propias del flujo, no se obtuvieron mediciones en todos los puntos que se había definido. Por ello, se debió preparar un programa de computación para que tomara el archivo de resultados que entregaba el sistema, identificara los valores útiles y los grabara en formato adecuado para su posterior análisis y graficación.

No se pudo lograr que el flujo llegara al modelo en forma uniforme, de manera que las mediciones a $x=0$ son una buena referencia de las características del flujo libre. Además, dado que el flujo era de derecha a izquierda, los valores de la componente x resultaron principalmente negativos.

4. Resultados para el Flujo 2D alrededor de Flotaciones de un buque

A continuación se han graficado en forma de vectores, los valores medios de velocidad en el plano, para los tres planos de flotación, [7]. Se incluye una ampliación de la zona de Popa, para identificar la región que comprende la estela:

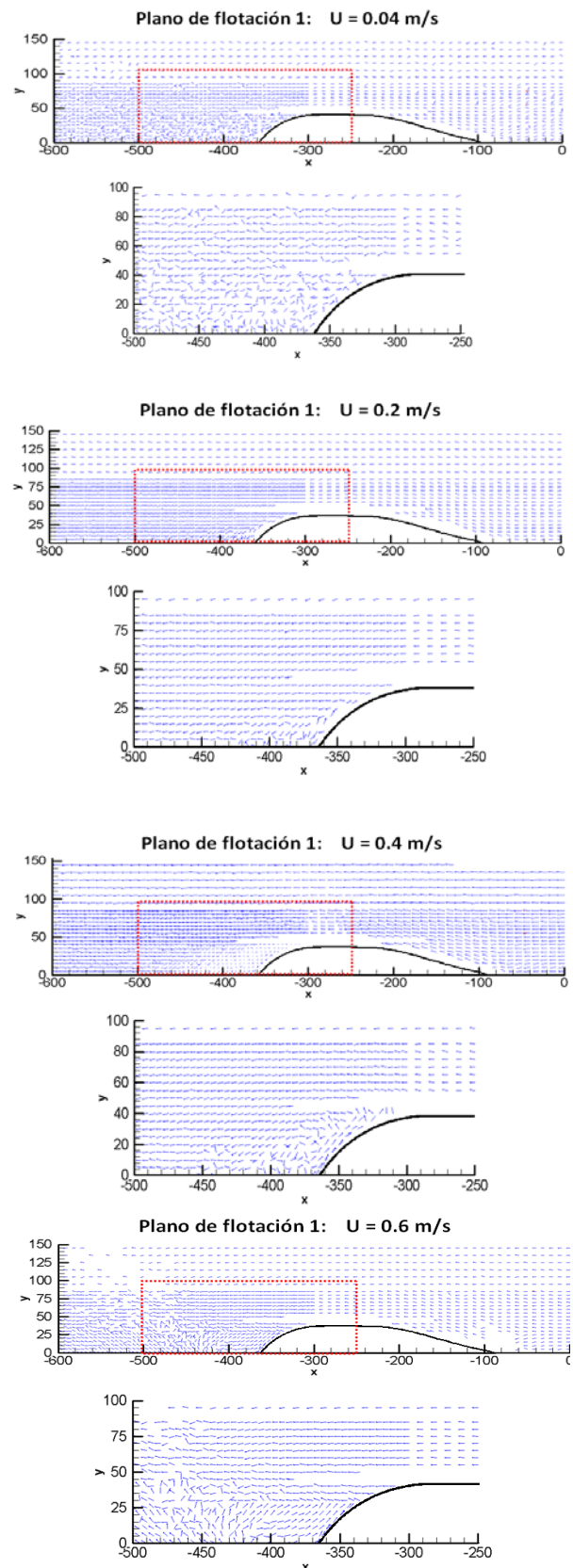


Figura 8.- Distribuciones del vector velocidad media alrededor del Plano de flotación 1

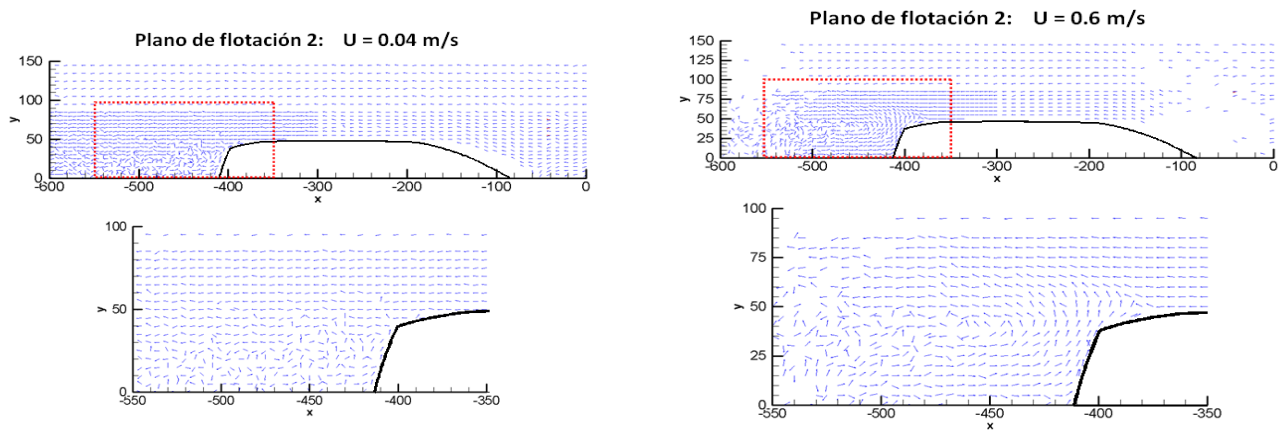
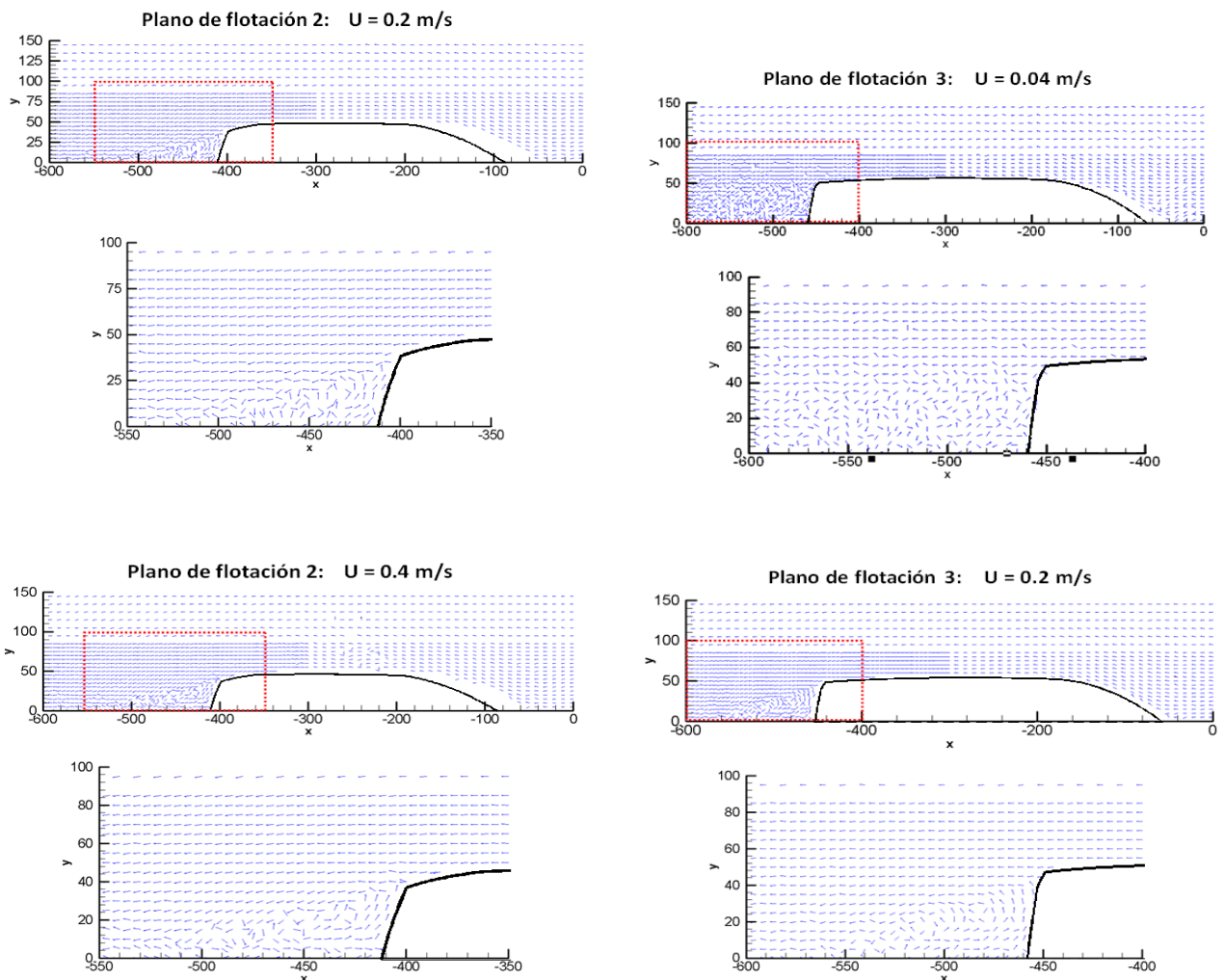


Figura 9.- Distribuciones del vector velocidad media alrededor del Plano de flotación 2



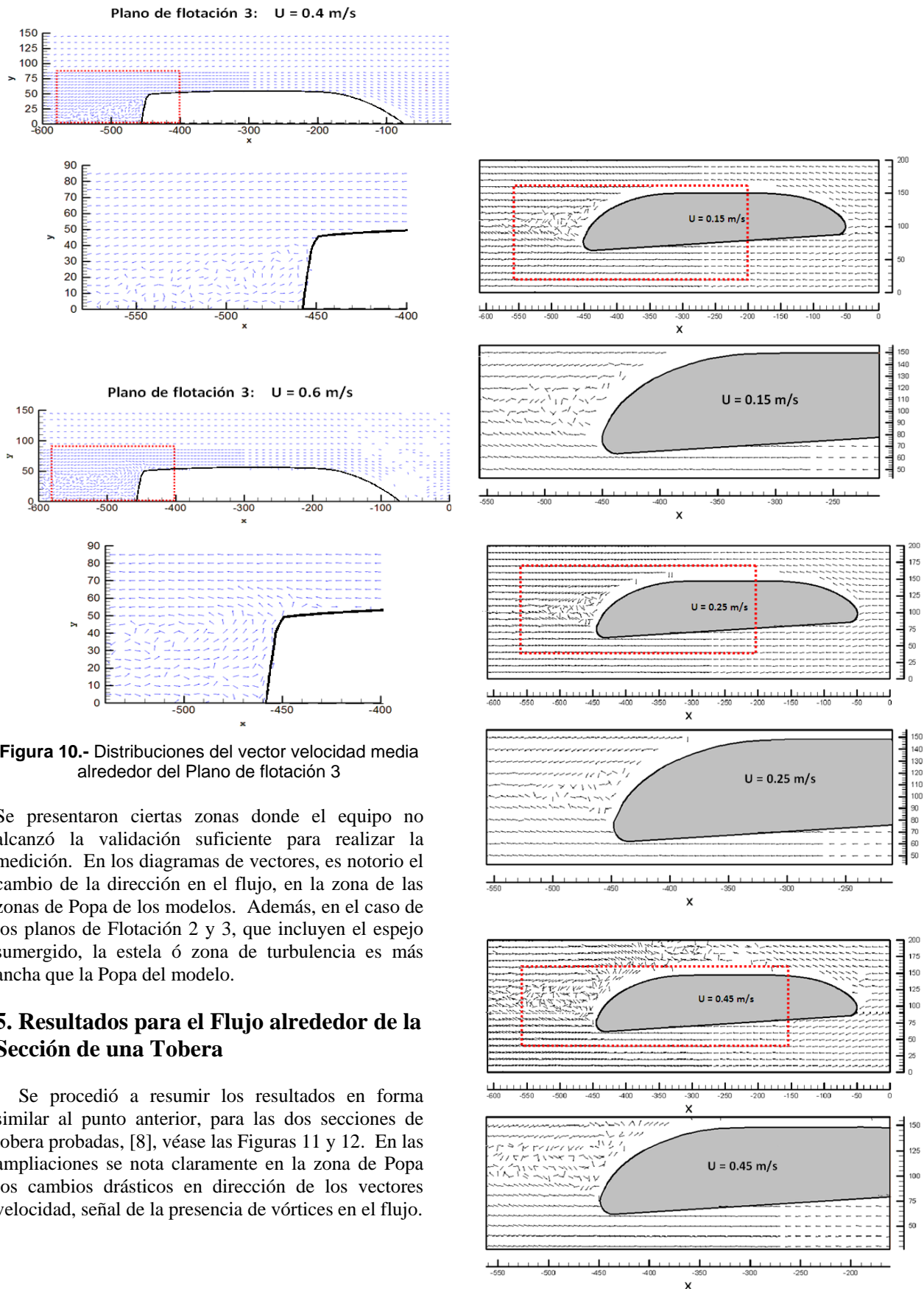


Figura 10.- Distribuciones del vector velocidad media alrededor del Plano de flotación 3

Se presentaron ciertas zonas donde el equipo no alcanzó la validación suficiente para realizar la medición. En los diagramas de vectores, es notorio el cambio de la dirección en el flujo, en la zona de las zonas de Popa de los modelos. Además, en el caso de los planos de Flotación 2 y 3, que incluyen el espejo sumergido, la estela ó zona de turbulencia es más ancha que la Popa del modelo.

5. Resultados para el Flujo alrededor de la Sección de una Tobera

Se procedió a resumir los resultados en forma similar al punto anterior, para las dos secciones de tobera probadas, [8], véase las Figuras 11 y 12. En las ampliaciones se nota claramente en la zona de Popa los cambios drásticos en dirección de los vectores velocidad, señal de la presencia de vórtices en el flujo.

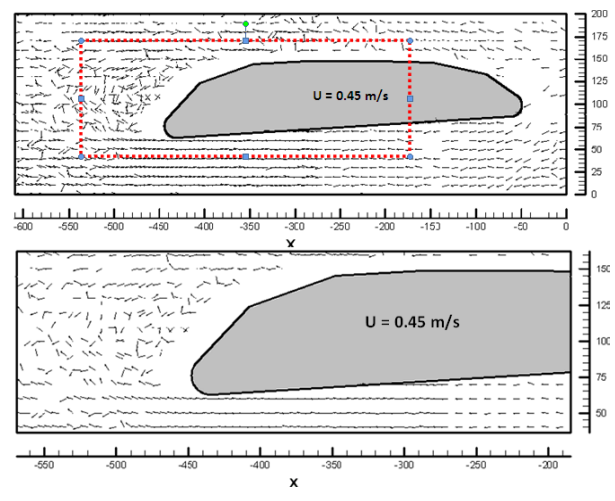
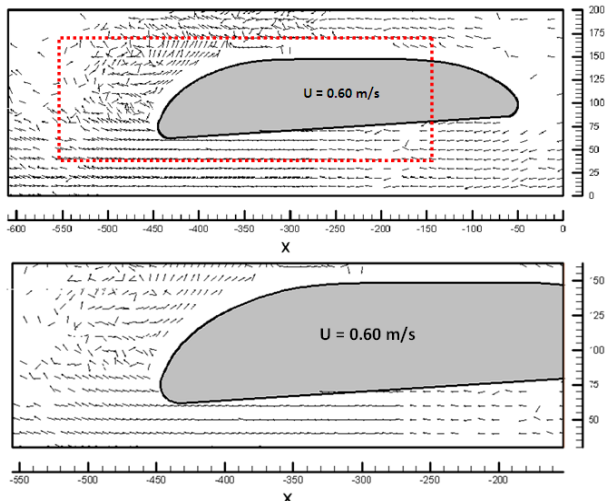


Figura 11.- Distribuciones del vector velocidad media alrededor del Sección de Tobera Continua

A continuación se presentan los campos de velocidad para el modelo segmentado:

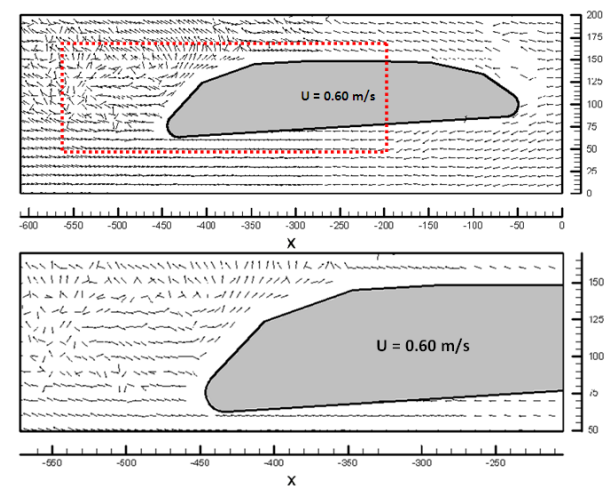
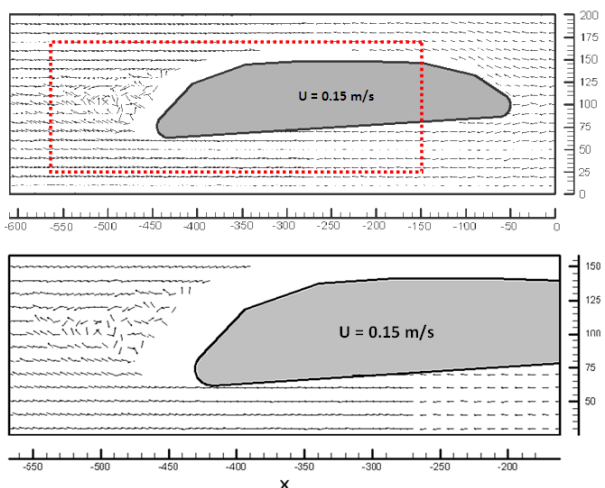
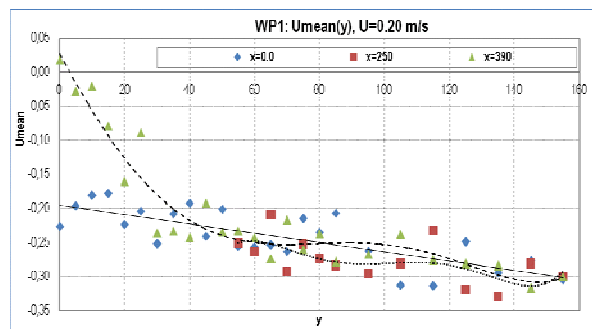
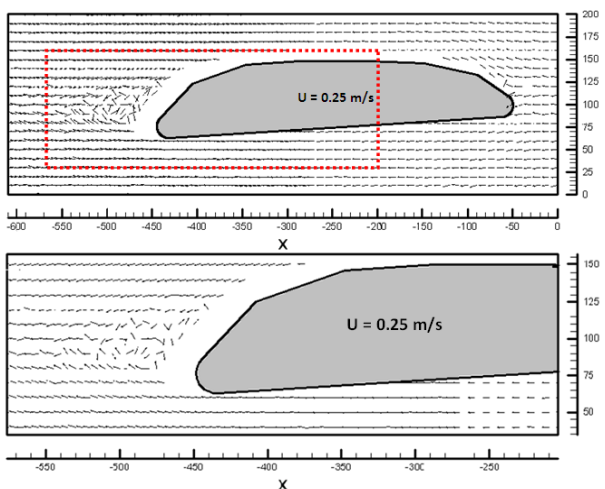


Figura 12.- Distribuciones del vector velocidad media alrededor del Sección de Tobera Segmentada

Las mediciones obtenidas no permiten, sobre todo en la velocidad más alta, determinar la influencia de los codillos.

6. Discusión de Resultados

Para analizar la influencia de cada modelo en los campos de velocidad, se resumieron los valores medidos a diferentes posiciones longitudinales. En las siguientes figuras se muestran los valores medios de la componente x de la velocidad, al inicio ($x=0.0$), en la zona central, y, a 5%L a Popa del “espejo” del modelo.



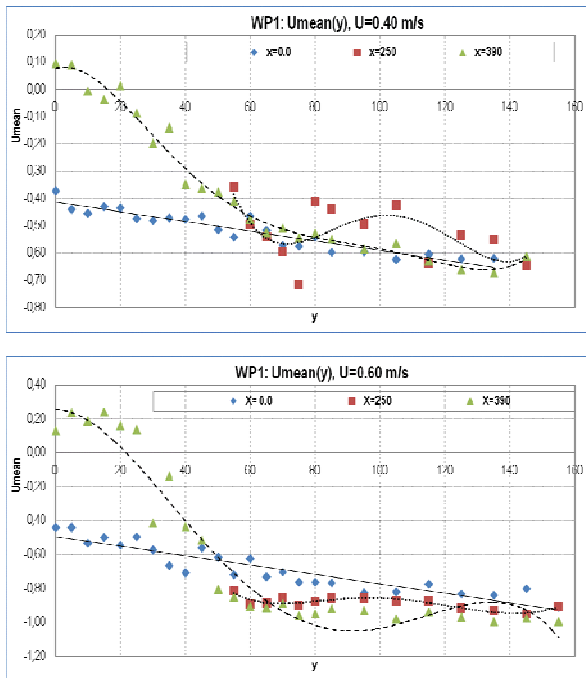


Figura 13.- Velocidades medias x en tres cortes para el Plano de Flotación 1

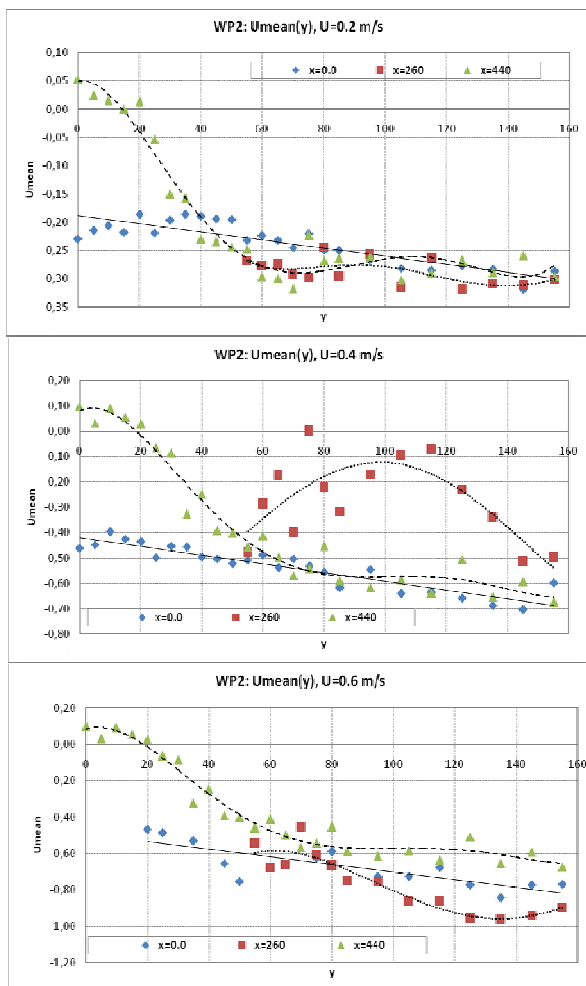


Figura 14.- Velocidades medias x en tres cortes para el Plano de Flotación 2

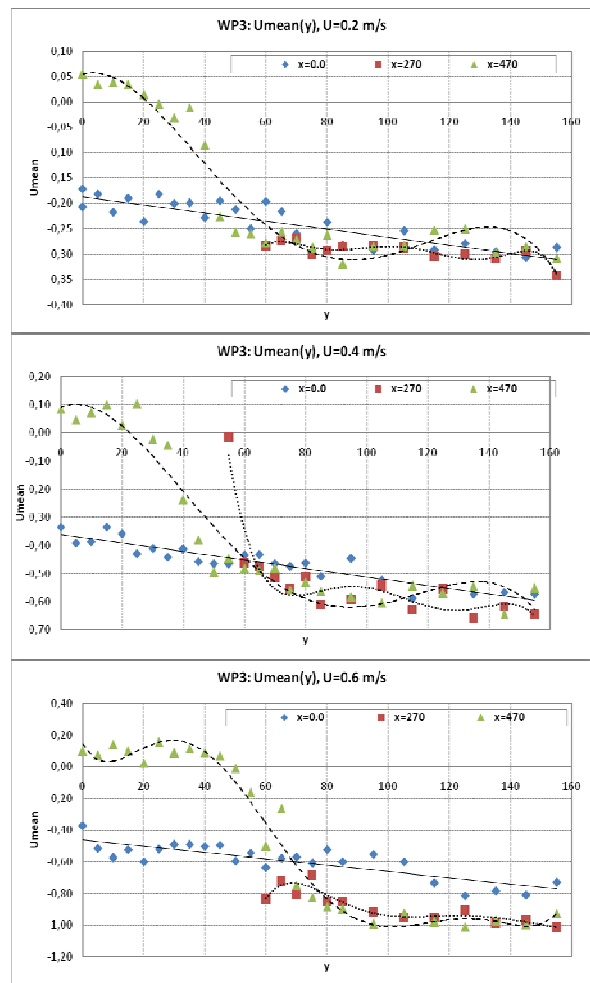
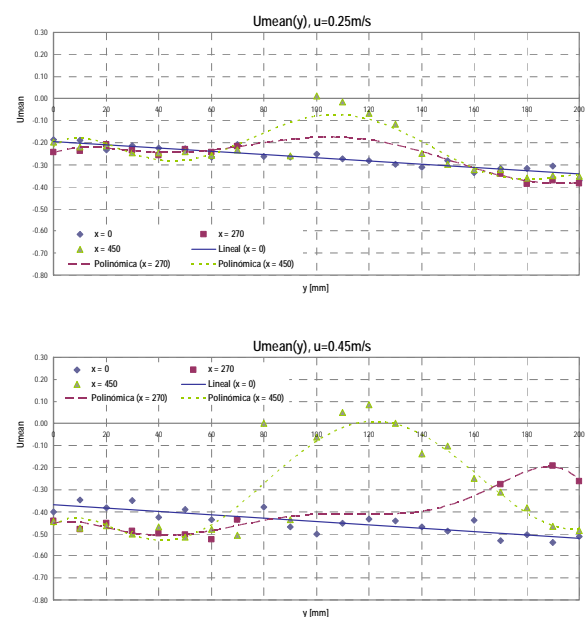


Figura 15.- Velocidades medias x en tres cortes para el Plano de Flotación 3

A continuación se presentan los componentes x de la velocidad de los campos de velocidad, alrededor de las secciones de tobera, al inicio, en la zona central y en el punto en que termina el modelo.



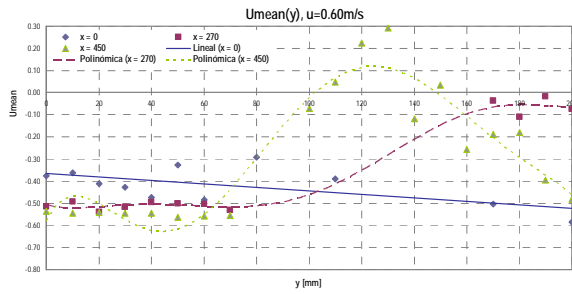


Figura 16.- Velocidad media en x en diferentes cortes alrededor de la Sección de Tobera Continua

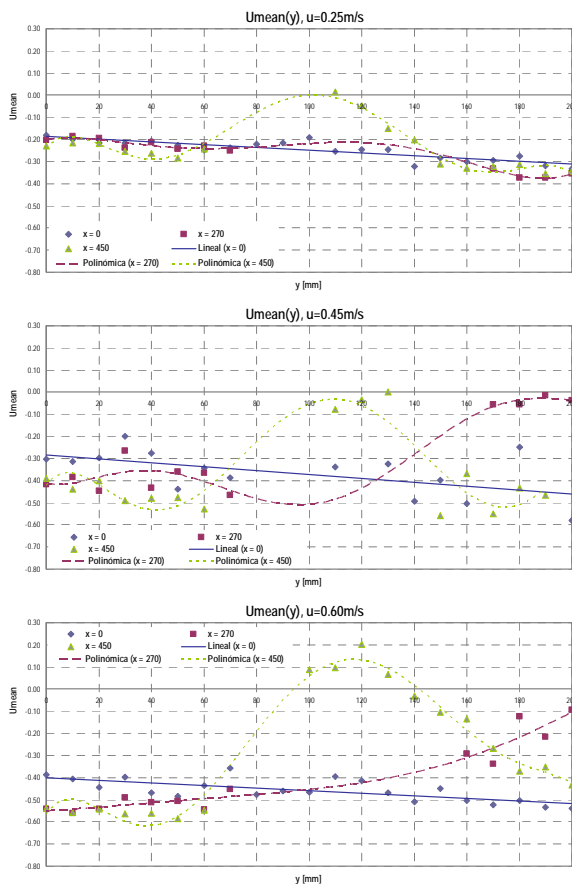


Figura 17.- Velocidad media en x en diferentes cortes alrededor de la Sección de Tobera Segmentada

Se incluyeron curvas de tendencia para una mejor observación de los resultados. En la entrada de las regiones de medición ($x=0$), la recta de tendencia no es horizontal, es decir no se tiene una distribución de velocidad uniforme, probablemente producto de la dirección en la descarga de la bomba. En los cortes alrededor de las Secciones Medias de los modelos, se nota un pequeño incremento en velocidad, razonable dada la reducción en área de circulación del fluido. Es interesante notar que en el caso de la sección de la tobera, en un lado se incrementa pero en el otro se reduce, producto de la circulación que se genera en el cuerpo. En el corte a Popa, se nota una reducción

drástica en velocidad, que en ciertos casos lleva a un cambio en dirección, esto es, a un contra flujo.

7. Conclusiones

Los flujos viscosos alrededor de cuerpos sólidos traen consigo el fenómeno de Separación de la Capa Límite, que da origen a la presencia de vórtices, “flujos turbulentos en forma de espiral con trayectorias de corriente cerradas”, [1]. Todo esto se resume en una reducción de la presión en la zona de Popa, con un incremento en Resistencia al Avance en el caso de buques, y por ello el interés de los ingenieros navales en su estudio. En este trabajo, se realizaron mediciones de los campos de velocidad alrededor de cuerpos bidimensionales sin efecto de superficie libre, pudiéndose establecer algunas conclusiones.

En las Figuras 8-10, para los Planos de Flotación, y, 11 y 12 para las secciones de tobera, se notan claramente la formación de la Estela, región de turbulencia en la zona posterior de los cuerpos. Esto se manifiesta con cambios en la dirección y amplitud de los vectores velocidad. Además, aún cuando no se logró cuantificar y comparar los tamaños de las regiones de estela en cada caso, se nota que en los PF 2 y 3, la presencia del espejo, hace que la estela sea más ancha que la manga del modelo.

Si se comparan las figuras 11 y 12, para las secciones continua y segmentada de la tobera, no se encuentra diferencia significativa; es decir, los codillos no significan cambio importante en el flujo, en el rango de velocidades probado. Sin embargo, esta observación no puede ser definitiva por la presencia de turbulencia en el flujo de entrada, lo que dificulta un poco el identificar la formación de vórtices por la presencia de la sección investigada.

Las figuras 13, 14 y 15, que presentan las componentes x de la velocidad en ciertos cortes a lo largo del flujo, permiten confirmar la relación entre la razón de cambio de la dimensión transversal de las flotaciones y la formación de la estela. Por ejemplo, puede compararse las figuras correspondientes a la más alta velocidad.

Recomendaciones

El tiempo para realizar las mediciones resultó bastante largo, de manera que sería útil el reducir el número de mediciones en la zona de entrada e incrementarlas en las zonas traseras. Así mismo, sería recomendable realizar una mejor definición del modelo ó bien incrementar el tamaño de los mismos, para realizar mediciones más cercanas a las superficies. Sería interesante volver a ejecutar las pruebas con un dispositivo para inducir turbulencia en la Proa de los modelos. También sería muy útil si se pudiera complementar las mediciones con sensores de presión, para relacionar gradientes de presión con la

separación de la capa Límite. Finalmente, estos resultados podrían compararse con los que se obtengan aplicando alguna técnica de CFD, empleando algún programa como [9], ó similar, para resolver las ecuaciones de Navier Stokes para los flujos experimentados.

8. Referencias

- [1] White, F., Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill, 3ra edición, 2004.
- [2] Streeter, V., Wylie, E.B., y, Bedford, K., Mecánica de Fluidos. McGraw-Hill, 9na ed., 2000.
- [3] van Manen, J. y van Oossanen, P., Resistance, cap. 6 en Principles of Naval Architecture, vol. II, Lewis, editor. SNAME, 1988
- [4] Newman, J., Marine Hydrodynamics. MIT Press, 1980.
- [5] McKeon, B., et al, Cap. 5 en Handbook of Experimental Fluid Mechanics, Tropea, Yarin y Foss, editores. Springer, 2007
- [6] Dantec Dynamics, Laser Doppler Anemometer. www.dantecdynamics.com, 2006.
- [7] Güingla, D. U., Caracterización Numérico-Experimental del Flujo Bidimensional alrededor de Planos de Flotación de un Buque Sardinero. Tesis de Grado de Ing. Naval, FIMCM-ESPOL, 2009.
- [8] Muñoz, N. R., Caracterización Numérico-Experimental del Flujo Bidimensional alrededor de la Sección Transversal de una Tobera. Tesis de Grado de Ing. Naval, FIMCM-ESPOL, 2009.
- [9] Comsol AB, COMSOL Multiphysics User's Guide, 2007