

# INSTALACIONES PARA ENSAYOS AERO - HIDRODINÁMICOS EN MODELOS A ESCALA REDUCIDA

Alejandro P. Prieto Fernández / DrC-Ing.  
CIDNAV, UIM. Cuba

## RESUMEN

Las instalaciones para ensayos en modelos a escala reducida existentes en Cuba tienen fines docentes - investigativos, con una data de 30 años. Su utilización en interés de la solución de problemas científico - técnicos de la rama naval está vinculada a la etapa del Período especial y con el desarrollo de la Cooperación intercentros. Luego de su necesaria caracterización y modernización con el equipamiento metrológico adecuado, se logró una plataforma para el diseño investigativo. Se abordan aspectos relacionados con las características técnicas, el equipamiento, los procedimientos de ensayos y los tipos de servicios que ofertan el Túnel Aerodinámico Subsónico, el Canal de Calibración de Molinetes y el Canal de oleaje. **Modelación, Aerodinámica, Hidrodinámica, Ensayos, Instalaciones, Procedimientos, Naval**

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es el de presentar las instalaciones experimentales para ensayos hidrodinámicos, disponibles en Cuba. Se exponen sus características principales y ejemplos de aplicaciones. Se abordan algunas tendencias de desarrollo.

La modelación de los fenómenos de la mecánica de los fluidos vinculados con la interacción del líquido con el cuerpo tienen en la rama naval diversas aplicaciones. Su fundamentación teórica corresponde a las condiciones del fenómeno tradicionalmente dividido en función de la naturaleza del líquido (homogéneo / heterogéneo), (compresible / incompresible), la consideración de las fuerzas de fricción interna ( ideal / viscoso), al tipo de movimiento ( estacionario / no estacionario) y el régimen del flujo ( laminar / transitorio / turbulento). Las expresiones de las leyes generales de la mecánica como la Ley de conservación de la energía y el Principio de correspondencia del trabajo - energía son conocidas por las obras de Euler , Bernoulli, Laplace, Torricelli, Navier, Stokes, Zhukovskii, Chaplignin, Patrashev.

El vertiginoso desarrollo de la informática en la segunda mitad del siglo XX propicio herramientas para la solución de los complejos sistemas de ecuaciones de los tensores matriciales ; se abrió el campo de la simulación en ordenadores de los flujos dinámicos (CFD). Con los mismos se logró un nivel de sistematización del conocimiento que permitió abordar teóricamente la investigación de las capas límites, los fenómenos de desprendimientos, la interacción en las fronteras de los medios bifásicos ( aire / agua). Todo este proceso tubo un impacto en el diseño investigativo aplicado a las formas del casco, la propulsión y su interacción mutua, la evaluación de la cualidades de marcha y maniobra. Con las técnicas de la *realidad virtual* se hizo navegar en las pantallas de los ordenadores los sueños del diseñador.

Desde los años 80 del siglo XX la Conferencia Internacional de Tanques de Remolque (ITTC), tiene abiertas las sesiones de trabajo sobre Hidrodinámica numérica. En ellas los signatarios de la Conferencia exponen la correspondencia entre sus programas y los resultados de ensayos en modelos físicos a escala. A pesar de los avances, en varios de los aspectos de la simulación existe diversidad de criterios, por lo cual continúan las rondas de discusión y los esfuerzos por la contrastación experimental de los modelos numéricos en aras de elevar su exactitud predictiva.

Cuba no es ajena a esta controversia. En el marco del Diseño naval se trazó la estrategia de complementar las técnicas de investigación de simulación en ordenador con las de ensayos físicos. Ante la ausencia de instalaciones especializadas para estos fines, el CIDNAVAL emprendió en la década del 90 siglo XX un esfuerzo de coordinación para la cooperación con varios Centros Docentes de Nivel Superior como son : El Instituto Técnico Militar "José Martí" , El Centro de Investigaciones Hidráulicas adjunto al Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" y El Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Como resultado de esta política de cooperación se logró en los últimos 10 años la recuperación, caracterización y modernización de las instalaciones, las que fueron condicionadas para ofertar servicios científico - técnicos a la rama naval.

## TÚNEL AERODINÁMICO SUBSÓNICO

Ubicado en el Instituto Técnico Militar "José Martí". Fue construido en 1976 y puesto en explotación con una balanza de 6 componentes en 1978. Es del tipo Flumé - Lineal abierto con sección de trabajo cerrada, perfil hexagonal, transparente. El flujo se crea por eyección de hélices de doble pala, perfil de aviación, accionadas por MECD con mando a distancia y regulación automática de las revoluciones. Permite alcanzar velocidades desde 12, 2 hasta 42,4 (m/s). La sección de trabajo tiene 1000 mm de largo y un diámetro útil de 600 mm.

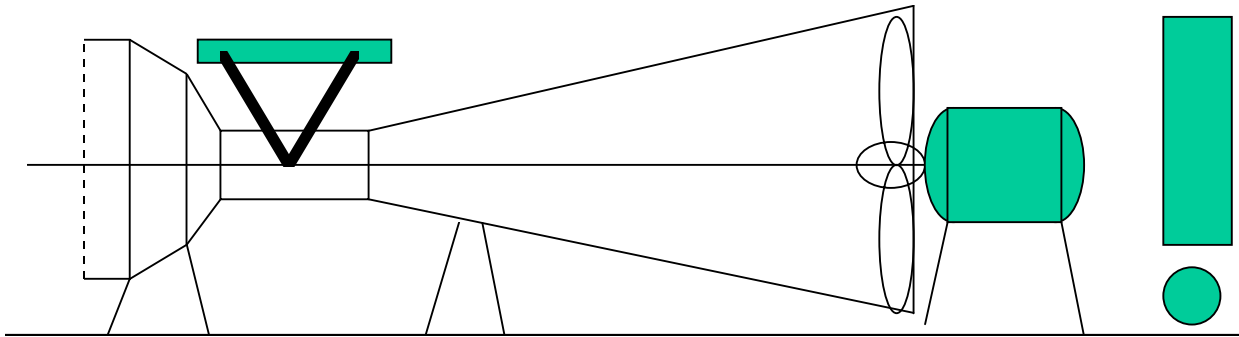


Fig.1 Esquema del Túnel aerodinámico subsónico ITM "José Martí"

El equipamiento fundamental lo constituyen la balanza de 6 componentes ( 3 de fuerzas, 3 de momentos) ; medidor de flujo con sensor tipo Tubo de Pitó ; indicadores de carátula para ángulos en los planos vertical y horizontal ; control de los parámetros del aire : temperatura, humedad relativa, presión. Adicionalmente cuenta con Registro de fotografía ultrarápida, filmación en Vídeo, Adquisición y procesamiento digital de datos, Batería de manómetros piezométricos. Se utiliza como Modelo de calibración : Esfera.

Tipos de ensayos : Determinación de los coeficientes aerodinámicos de un cuerpo en flujo potencia incompresible homogéneo estacionario ; Evaluación de las capas límites tridimensionales, su interacción y desprendimientos ; Investigación de las formas del casco portador y de los fenómenos de superposición de las capas límites tridimensionales por la posición de los apéndices.

### CANAL DE CALIBRACIÓN DE MOLINETES

Ubicado en el Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hídricos. Está localizado en el municipio de Boyeros , Ciudad de la Habana. La obra comenzó a ejecutarse en 1976. En 1997 comenzó su modernización para la realización de ensayos en interés de la rama naval.

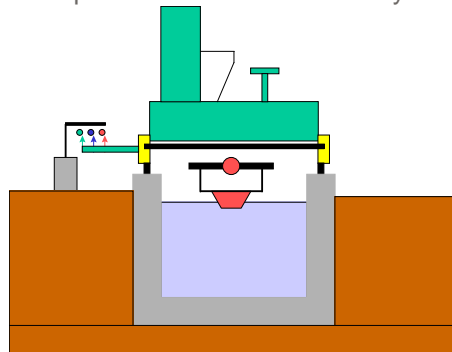


Fig. 2 Esquema del Laboratorio de Hidrodinámica naval (LHDN).

El equipamiento fundamental cuenta con un canal techado de 100 x 2 x 2 (m.) orientación este - oeste ; una carretilla eléctrica autopropulsada con regulación automatizada de la velocidad en un rango de 0,1% del valor, con selección del tiempo de aceleración entre 1 – 10 (s), tienen dos regímenes de velocidad - Baja : 0,03 - 0,6 (m/s) y Alta : 0,03 - 6,00 (m/s) ; la carretilla está equipada con sistema de remolque por barra, por cable, por radio. ; posee tres sistemas de control de la velocidad : manual, encoder, medidor de flujo ; para la medición de la fuerza de remolque se utiliza una celda de carga acoplada al sistema de remolque y al sistema de adquisición digital de datos; control de los parámetros del agua : temperatura, densidad, composición ; control de los parámetros del aire : temperatura y presión.

Adicionalmente cuenta con sistema de medición externo de la velocidad por sensores optoelectricos y otro con anemómetro digital ;plataforma giroscópica de 3 direcciones para la medición de la velocidad angular ; clinómetros potenciométricos para la determinación de los ángulos de inclinación del modelo. Se utilizan como Modelos de calibración : Esfera, MBK-1, MC

Tipos de ensayos : Estáticos - Flotabilidad, centraje, estabilidad, inercia ; Dinámicos -Curva de remolque ; ángulo de asiento en marcha ; eficiencia del planeo

### CANAL DE OLEAJE

Ubicado en el Centro de Investigaciones Hidráulicas adjunto al Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría" localizado en Mariano , Ciudad de La Habana. Fue construido con apoyo de la Unesco a finales de la

década del 60 siglo XX. Cuenta con varios estanques techados y con paredes transparentes, así como un polígono descubierto con canales de concreto, fundición in situ, con sección de trabajo de 1,7 x 1,5 (m.) y longitudes entre 250 y 160 ; además cuenta con un estanque de figura pentagonal con profundidad de 1(m.) destinado para ensayos de oleaje tridimensional

El equipamiento fundamental : generador de oleaje bidireccional con altura de la ola sinusoidal entre 5 cm y hasta 30 cm ; sensores de altura de la ola ; sistema de adquisición y procesamiento de datos ; control de los parámetros del agua : temperatura, densidad, composición ; control de los parámetros del aire : temperatura y presión ; sistema de fijación de los modelos. Adicionalmente cuenta con medios para la simulación de rompeolas y para estudios de ingeniería de costas.

Tipos de ensayos : Estáticos - flotabilidad, centraje, estabilidad, inercia ; Dinámicos -Curva de balance ; ángulo de inclinación en función del oleaje y del rumbo respecto a la ola.

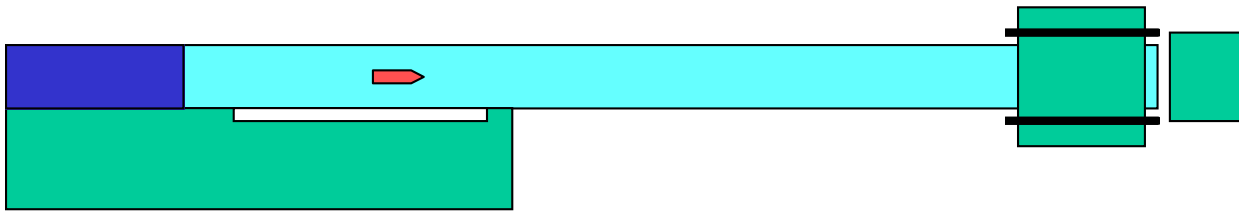


Fig.3 Esquema del canal de oleaje bidireccional del CIH - ISPJAE

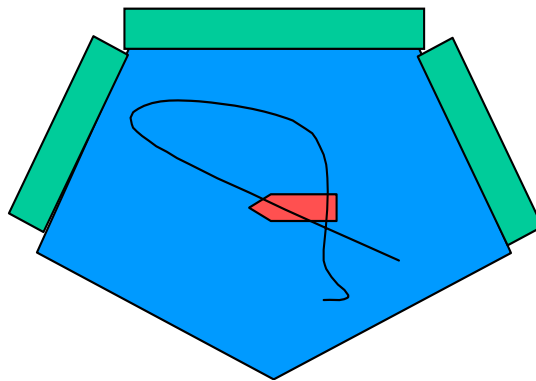


Fig.4 Esquema del Estanque de oleaje tridireccional del CIH - ISPJAE

### MILLA MEDIDA

La milla medida se encuentra en la costa norte de la Provincia La Habana, Municipio del Mariel, al oeste de la Capital.

Destinada a ensayos de modelos a escala natural. Es una de las instalaciones más antiguas del país, data de la década de los años 20 del siglo XX. Seleccionada en una zona costera de corrientes estables con velocidad inferior a 1 knot ; el perfil de costa permite la alineación escalonada de las marcas en tres niveles, determinados por métodos topogeodésicos ; en ambos extremos de la línea medida existen acuatorias para realizar las maniobras de giro a embarcaciones de hasta 50(m.) de eslora, en rangos de velocidad de marcha hasta 35 knot.

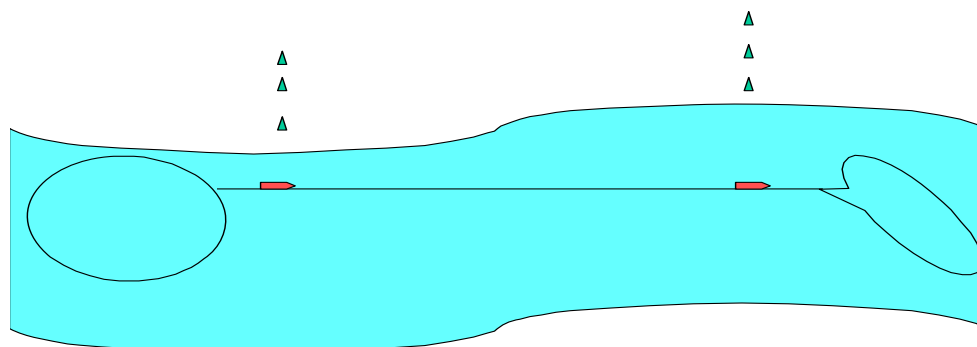


Fig.5 Esquema de la Milla Medida del Mariel

Entre el equipamiento para la realización de los ensayos se cuenta con : cronómetros, anemómetros, termómetros ; para el control de los parámetros de las máquinas se utilizan los pi-metros, tacómetros, sensor de momento torsor. En los ensayos se emplean como referencias los equipos de abordo de las embarcaciones que estén equipadas con correderas tipo Tubo de Pittot.

Desde el año 1999 se ensayó en empleo del GPS diferencial para la calibración simultánea en la milla. Este procedimiento permite la realización de mediciones en acuatorias abiertas con rumbos seleccionados, atendiendo a las restricciones por corrientes, velocidad del viento, estado del mar, estado de las máquinas y calidad de los combustibles.

### LA ACUATORIA PARA ENSAYOS DE MANIOBRA.

Se ubica en la zona de la cayería con delimitación topogeodesica. Destinada para ensayos con modelos a escala natural y a escala reducida.

Entre sus exigencias cumple con la calidad de los fondos regulares, remanso de las corrientes, facilidades de acceso por viales y zonas de navegación. Influye de forma determinante en la selección de la acuatoria la estadística de días de calma al año.

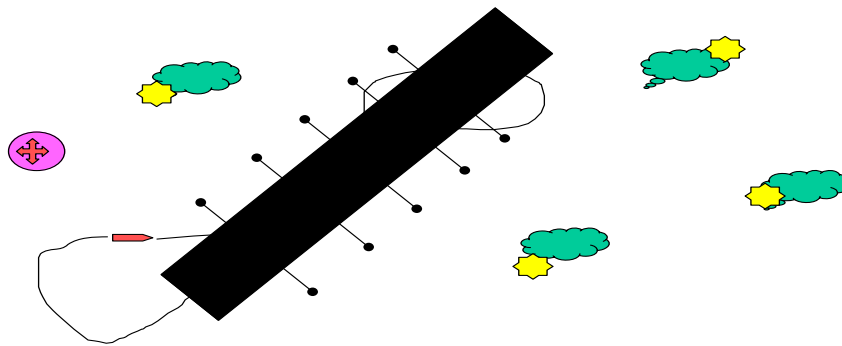


Fig.6 Esquema de la Acuatoria para ensayos de maniobrabilidad.

Entre el equipamiento se establecen dos tipos :

Los estacionarios : relacionados con las marcas y faros, para el posicionamiento por coordenadas terrestres, por métodos de la triangulación, y control por GPS - Diferencial.

Los no estacionarios : Estaciones hidroacústicas ; visualización de la maniobra desde un helicóptero estacionario ; campo de boyas con intervalo de 12 x 12 (m) ; equipamiento para radio control y teledetección de datos.

### PERSPECTIVAS DE DESARROLLO

Automatización del proceso de adquisición de datos en el TADS - ITM.

Equipamiento del canal del LHDN con un generador de oleaje irregular.

Modernizar el Estanque de oleaje tridimensional para ensayos de modelos a escala reducida.

Equipamiento de una acuatoria costera para ensayos de maniobrabilidad con modelos a escala reducida, teledetección de datos, empleo de estaciones hidroacústicas para el posicionamiento.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Prieto Fernández, Alejandro P. et Al: Validación del TADS - ITM para ensayos en interés de la rama naval. CIDNAV, 1996.
2. Balaguer Labrada, Luis A, et Al: Ensayos de eficiencia del planeo. CIDNAV 1999.
3. Medina Castillo, José et Al: Ensayos de modelos en canal de oleaje bidireccional CIDNAV 1998
4. Hernández Costa, Víctor A, et Al: Ensayos de comportamiento en el oleaje con modelos a escala natural y reducida. CIDNAV, 2000
5. Rusetskii, A.A : Equipamiento y organización de los laboratorios hidro- aerodinámicos. Edit. Sudostroenie, Leningrado. 152p. 1975