

EXPERIMENTACION CON MODELOS DE BUQUES

Referencia especial al Laboratorio de Hidrodinámica
Naval de Valdivia

Por

Nelson PEREZ M. *

Carlos SANGUINETTI V. **

★



A COMPLEJIDAD de los fenómenos hidrodinámicos que afectan al casco de un buque son de magnitud tal que necesariamente debe recurrirse a la experimentación con modelos.

La solución experimental y el canal de pruebas se han transformado en la única herramienta que permite entregar resultados acertados.

Al analizar el crecimiento de los canales de pruebas en el mundo se ve un considerable aumento de los canales denominados de porte pequeño, que evidentemente representan un menor costo inicial, de operación y de experimentación.

Pero de aquí surge entonces una importante pregunta: ¿Puede un canal pequeño realizar ensayos con modelos y obtener resultados satisfactorios para el buque real?

En estas notas se entregan elementos de juicio que permiten darse cuenta que el calificar un canal como utilizable o no, es materia de un detenido y documentado análisis, y que evidentemente bajo ciertas condiciones, los canales pequeños

(*) Ing. E.C. Naval.— Especializado en Hidrodinámica Naval. Canal de experiencias El Pardo, del Ministerio de Marina de España 1972-1973, Univ. de Madrid, Instituto de pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo, Brasil (1975).

Jefe del Lab. Hidronaval - UTE, Valdivia.

(**) Ing. E.C. Naval.— Especializado en Hidrodinámica Naval. Canal de experiencias El Pardo, Ministerio de Marina de España, Univ. Politécnica de Madrid, 1972-1973, "Promemar", Río de Janeiro, Brasil.

Prof. Propulsión y Mec. Fluidos UTE, Valdivia.

en la actualidad entregan un valiosísimo aporte a la industria naval en más de 24 países en todo el mundo.

Chile ha incorporado recientemente una nueva instalación de este tipo, a la que se hace especial referencia en esta oportunidad.

Se entrega además una relación de los canales pequeños existentes y algunas de sus características principales.

1. ¿Qué es un canal de pruebas?

Consiste, en general, de un estanque rectangular de relación largo ancho de 40 y 80 aproximadamente y con profundidad de agua suficiente que asegure la no influencia del fondo (lo mismo las paredes laterales) en el comportamiento de un modelo geoméricamente a escala del navío real, que se desplazará en la superficie, representando los distintos problemas que se desea estudiar y/o determinar.

2. Problemas que soluciona

- 1º) Determinación de la forma óptima del casco; determinación de trimados (como funciones de la velocidad), forma de las olas a lo largo del buque y posición.
- 2º) Determinación de interacción entre casco y propulsor. Potencia necesaria para las velocidades exigidas. Determinación de hélice óptima.
- 3º) Ensayos de hélices, para determinar sus características de funcionamiento.
Ensayo de cavitación (determina la existencia o no de este fenómeno), tipo de cavitación y zonas afectadas.
- 4º) Determinación de timón óptimo, potencias necesarias, ensayos de maniobrabilidad, y respuesta del buque al timón.
- 5º) Determinación de influencia de la poca profundidad de agua, sobre resistencia al avance, propulsión y maniobrabilidad.
- 6º) Determinación del comportamiento del navío en olas, movimientos lineales y de rotación, probabilidades de ocurrencia.
- 7º) Ensayos de estabilidad.

8º) Ensayos de lanzamiento, y determinación de velocidades, aceleración y espacios recorridos.

9º) Investigación de fenómenos relativos a la hidrodinámica de cuerpos y artefactos flotantes.

El fundamento de todos estos ensayos está en las leyes de semejanza mecánica, usadas en distintas áreas de ingeniería. El aplicar estas leyes a un modelo permite estudiar en escala reducida los fenómenos que se presentarán en el sistema real.

Las exigencias de estas leyes son en general:

- a) Semejanza geométrica.
- b) Semejanza cinemática.
- c) Semejanza dinámica entre modelo y navío real, leyes éstas que fueron desarrolladas para hidrodinámica del buque por el investigador inglés William Froude en 1869.

La metodología de experimentación en la actualidad, es cada vez más compleja, como así también los métodos analíticos de correlacionar los resultados obtenidos en un modelo con el buque real.

Los equipos e instrumentos cada vez más sofisticados han posibilitado una exactitud tal, que ha, incluso, producido un cambio en la antigua tendencia de construir canales cada vez más grandes, reemplazándolos por pequeños canales de alta precisión.

Breve Historia

El problema fundamental de la Arquitectura Naval desde sus comienzos y hasta nuestros días es el hecho de lograr un casco con la mínima resistencia al avance, pero que conjuntamente con esto combine, además, buenas cualidades de navegación, capacidad de carga y evidentemente un óptimo rendimiento económico del mismo.

Existen dos problemas que se han transformado en puntos claves del diseño de un buque:

- 1) Optimización de sus formas con miras a la obtención de la mínima resistencia al avance.
- 2) Eficiente utilización de la potencia motriz mediante una óptima interacción del conjunto casco y propulsor.

La mayoría de las naciones marítimas más dinámicas comenzaron hace ya bastante tiempo a preocuparse por la solución a estos problemas, mediante estudios teóricos y experimentales. La utilización del método experimental aplicado finalmente en casi todo el mundo se debe principalmente al investigador inglés W. Froude.

Froude dedicó varios años a la Arquitectura Naval e incluso el problema de la resistencia al avance lo venía investigando con sus propios recursos, tanto teórica como experimentalmente. Se dedicó en especial a estudiar algunos trabajos en hidrodinámica de Rankine y formuló su teoría de que la resistencia total al avance en un buque podía dividirse en dos componentes principales que él denominó: Resistencia de Fricción y Resistencia Residual respectivamente, en 1867.

En general se puede decir que la actividad de los investigadores en Ingeniería Naval antes del siglo XIX era poco dinámica y los conocimientos que se tenían sobre la porción sumergida del buque eran totalmente vagos y con premisas de bases muy dudosas.

En 1666, por ejemplo, Sir Anthony Deane fue el primero en predecir con cierta exactitud la flotación de un buque luego de su lanzamiento.

En 1746 Pierre Bouguer, auspiciado por la academia francesa de Arquitectos Navales, publica los primeros estudios que aparecieron sobre el "metacentro" como un "factor" de la estabilidad en un buque.

Daniel Bernoulli en 1757 y luego Euler en 1759 publican tratados referentes a las leyes que gobiernan el comportamiento de los cuerpos flotantes.

Poco después, alrededor de 1775, se llevaron a cabo una serie de experimentos realizados principalmente por D'Alembert, Condorcet y Bossut en los que se utilizaron modelos sobre los cuales incluso se intentó estudiar algunos resultados de una variación sistemática de proas y popas; experiencias éstas realizadas en un canal bastante desproporcionado de unos 30 m. de longitud por 17 m. de ancho y 1,8 m. de profundidad, en el que los modelos eran remolcados mediante un alambre conectado a pesos variables a través de una polea, lo que permitía la obtención de diversas velocidades.

Mark Beaufay, con gran desconocimiento sobre olas, enunció una expresión que en los casos prácticos resultaba bastante acertada:

$$R = f \cdot S \cdot V^n$$

f = coeficiente de olas

S = superficie de la carena

V = velocidad del buque

n = coeficiente que varía entre 1,8 y 1,73

Frederick Chopmann, sueco, al igual que M. Beaufay, inventó y preparó un método que le permitía evaluar la resistencia en forma empírico-teórica y según sus contemporáneos fue uno de los primeros en sugerir en 1795 el empleo de Canales de Experiencias y modelos de buques para la determinación de la resistencia al avance de los mismos.

William Froude

Los primeros experimentos de Froude los comenzó en el río Dart, en Cumberland, de forma muy rudimentaria, con modelos muy pequeños y autopropulsados con un mecanismo de relojería que el mismo fabricara. Continuó sus experiencias en Paygnton, ensayando modelos remolcados en un estanque de agua dulce por medio de un cable accionado por pesos.

En realidad no existe un registro completo sobre las primeras investigaciones de Froude, pero en 1870 consigue vencer al Almirantazgo inglés de las ventajas que se lograrían en caso de tener éxito en sus experiencias.

En 1871 y ya financiado por el Almirantazgo, se comenzó la construcción del primer Canal de Pruebas propiamente tal, en las cercanías de su propia casa en Torquay.

En un principio la Asociación de Arquitectos Navales se opuso unánimemente a la construcción del canal y al uso de modelos como solución al problema de la resistencia. A pesar de esto, el Almirantazgo apoyó y respaldó una vez más a Froude y colocó a su disposición la corbeta "Greyhound" de 1.180 tons. de desplazamiento, con la que complementó sus experimentos en el canal, publicando un primer informe en 1874.

Basó sus experimentos fundamentalmente en el principio de semejanza mecánica que se aplica actualmente también en otras ciencias de ingeniería.

Las pruebas llevadas a cabo por casi un año en la "Greyhound" mostraron que existía una gran correspondencia entre los valores reales y los respectivos ensayos.

Este primer canal de experimentación en Hidrodinámica Naval medía 85 m. de longitud por 11 m. de ancho y 3 m. de profundidad de agua, en el cual el modelo era remolcado mediante un carro que se deslizaba sobre rieles y que podía moverse en un amplio rango de velocidades, usando un winche accionado por una máquina a vapor independiente.

Los modelos los construyó en parafina, por ser más fácil y rápida su fabricación y lo suficientemente resistente y simple de modificar las formas. Además de preocuparse por el ensayo de remolque como solución al problema de la determinación de resistencia al avance, hizo observaciones y estudios sobre los trenes de olas transversales y divergentes, se preocupó especialmente de la interferencia entre los distintos sistemas y perfiles de ola resultantes, fenómenos estos que se reproducen a escala según su propia ley de semejanzas.

Le cabe participación, además, en la solución de problemas de propulsión, con la extensión y aplicación de las leyes de semejanza a modelos de propulsores, dentro de ciertos límites. Fue el primero en adoptar un estanque especial para propulsores y diseñar aparatos para ensayos de este tipo, verificando por primera vez que evidentemente el funcionamiento del propulsor es distinto cuando trabaja aislado que cuando lo hace en presencia de la carena y apéndices de popa. Los aparatos e instrumentos que utilizó fueron luego perfeccionados, principalmente por "Gebers".

Después de la primera instalación en Torquay, el Almirantazgo inglés financió la construcción de otro canal en "Gosport" (Haslar, Portsmouth) dirigido por W. Froude, en el cual contó con la ayuda de su hijo Robert Froude.

A partir de allí, instalaciones similares comenzaron a ser construidas en otros países. Holanda fue uno de los primeros en Europa, en 1873 en Amsterdam, en

poner en funcionamiento un pequeño canal dirigido por Tiderman. Italia en 1867 instaló un canal muy primitivo en principio, y que fue completamente restaurado y modernizado en 1930, ubicado en La Spezia; tenía 150 m. de longitud, 6 m. de ancho y 3 m. de profundidad (hubiera llegado a ser el canal más antiguo de Europa, pero fue destruido por bombardeos durante la II Guerra Mundial).

En la actualidad son más de 100 los canales de todos los tamaños que funcionan en más de 30 países. El más antiguo es el que fundara William Denny entre 1882 y 1883 (ver Tabla 1), y a juicio de un gran número de autores es el Davidson Laboratory, en Hoboken, el primero en ensayar modelos pequeños (alrededor de 0,9 m. de eslora).

Canales de porte pequeño

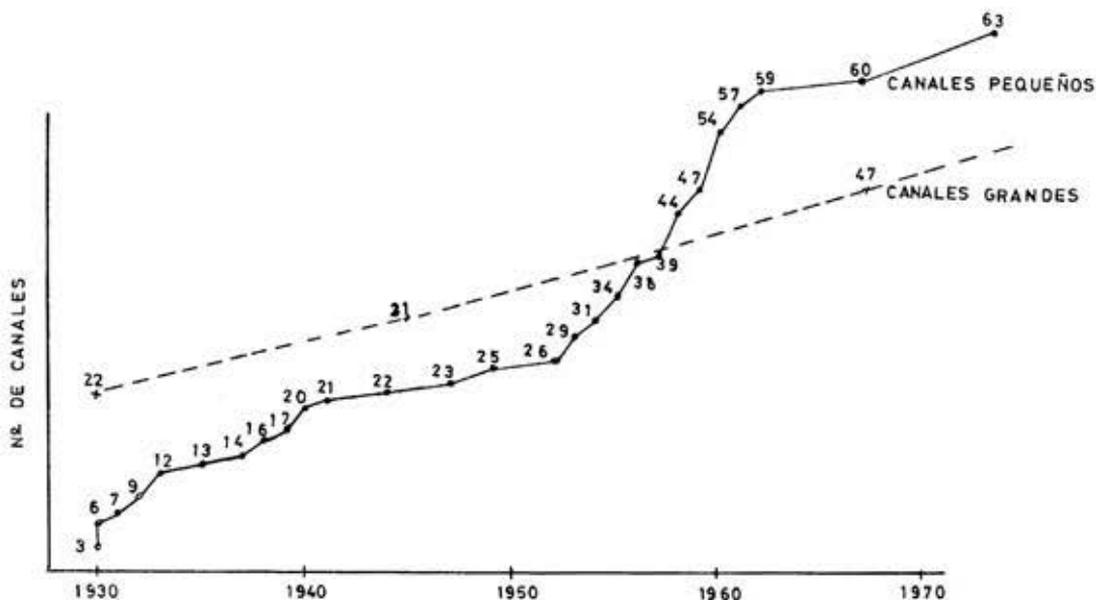
Existe desde algunos años una tendencia generalizada a distinguir entre canales de porte pequeño y canales grandes; por lo general atendiendo principalmente a su longitud mayor.

Dejando de lado el hecho discutible sobre qué parámetro considerar en la clasificación de los canales pequeños y grandes, la propia división en pequeños y grandes está quedando fuera de lugar cuando quiere significar la capacidad o no de entregar satisfactorios resultados con sus ensayos.

En general el criterio actual más satisfactorio para analizar un canal de pruebas es atendiendo a su sección transversal útil de trabajo, por ser éste uno de los factores fundamentales en los efectos de bloqueo que puedan presentarse y que en definitiva determina un límite en el tamaño de un modelo dado, y por ende de la relación de escala a que se verificarán los ensayos con él.

A juicio de algunos autores quedarían definidos como canales pequeños aquellos que tienen una sección transversal menor que 30 m². La figura 1) da una visión de crecimiento y evolución de los canales de experiencias hidrodinámicas con modelos de buques.

Se puede apreciar que existen hoy en día más de 60 canales de porte pequeño y es necesario destacar cómo entre 1930 y 1950 el incremento de canales peque-



CRECIMIENTO DE LOS CANALES

FIG 1

ños es de unos 18, mientras que luego, en sólo 10 años, entre 1950 y 1960 el incremento es de 30 aproximadamente.

Naturalmente que gran parte de los canales pequeños se encuentran ligados o pertenecen a Universidades o Escuelas de Ingeniería. Pero cuando se analizan las cifras resulta ser que sólo un 50% de ellos se encuentran en esa situación, el otro 50% funcionando bien, formando parte de grandes Institutos de Investigación o bien como Centros Autónomos de Investigación y Asesoría a la Industria; entre estos últimos existen 7 que pertenecen a astilleros como una sección más.

Puede entonces destacarse que existen alrededor de un 50% de canales pequeños directamente relacionados con la industria (cifra que no es del todo real, puesto que entre los pertenecientes a las Universidades sólo un mínimo porcentaje labora "exclusivamente" en docencia).

Evidentemente que los canales de este tipo involucran instrumentos y equipos modernos, altamente eficientes e inevitablemente electrónicos en su mayoría, lo que seguramente constituye la causa de la gran proliferación que de éstos se observa después de 1950 hasta la fecha.

La tabla 1 entrega una relación de los canales pequeños existentes (omitiendo aquellos de usos especiales y modernización efectuada durante los últimos tres años).

Se puede notar que los rangos más utilizados en cuanto a longitud se encuentran entre 20 y 40 m. y 70 y 80 m., siendo la longitud mínima 16 m. y la mayor 152 metros.

Aproximadamente el 70% de estos canales tiene menos de 10 m² de sección transversal; un 50% tiene menos de 6 m² y sólo un 10% sobrepasa los 20 m² de sección transversal útil de trabajo. Es también importante destacar además que las esloras promedio de los modelos que se usan se encuentran entre 1,5 y 2,5 m. Y a pesar de que se encuentran repartidos en aproximadamente 24 países, solamente 4 de ellos concentran más del 50% del total.

U.S.A.	13	Canales pequeños
Japón	11	" "
G. Bretaña	5	" "
U.R.S.S.	4	" "

En Latinoamérica sólo 3 países cuentan con instalaciones de este tipo:

- 1) Brasil: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, construido en 1956 (ver Tabla 1), cuenta además con un túnel de cavitación para propulsores.
- 2) Argentina: Universidad de Buenos Aires, construido en 1962 (ver Tabla 1).
- 3) Chile: CECON, Universidad Técnica del Estado, Sede Valdivia, construido en 1973 (ver Tabla 1).

NOTA: Actualmente existen proyectos de construcción de canales de este tipo en varios otros países americanos, como Méjico (Veracruz), Ecuador, Venezuela y Perú.

La necesidad e importancia de un Canal de Experiencias en Hidrodinámica Naval nace del hecho de que los fenómenos que intervienen y afectan el comportamiento del buque son de una complejidad tal que se debe entonces inevitablemente recurrir a la solución experimental.

De aquí nace una pregunta importantísima: ¿Los canales de porte pequeño, según la clasificación dada aquí, están en condiciones de hacer predicciones con resultados satisfactorios, como lo han sido hasta ahora los de los grandes canales?

Evidentemente bajo ciertas condiciones la respuesta es indiscutiblemente afirmativa.

Las condiciones "esenciales" que se han discutido en las reuniones de la Conferencia Internacional de Canales de Pruebas I. T. T. C. son:

- 1) Velocidad constante del modelo en todo el rango de medición y la posibilidad de ser reproducidas más de una vez.
- 2) Estimulación de turbulencia adecuada y correcta.
- 3) Medidas de velocidad con alta precisión al igual que las de resistencia y otras como revoluciones, torque, empuje, ángulos, desplazamientos en sus ejes, etc.
- 4) Corrección segura de la resistencia adicional introducida por el excitador de turbulencia.
- 5) Eliminación de problemas ajenos, como por ejemplo, vibraciones en el winche o carro de remolque, variaciones de los niveles de tensiones eléctricas sobre los instrumentos, re-

visiones periódicas de la calibración de equipos instrumentos.

- 6) Referente a los modelos y realización de las experiencias, se recomienda extrema rigurosidad en toda la metodología de ensayos y extrapolaciones.

Prácticamente en la actualidad, cualquier canal pequeño estaría en condiciones de cumplir con estas exigencias mínimas, si cuenta con personal técnico capacitado y equipamiento de alta precisión y eficiencia.

Pero seguramente no son estos requerimientos el problema más difícil de enfrentar para un canal de estas características. Está también un generalizado prejuicio respecto de los resultados en ellos obtenidos.

Se pretende incluso, que este tipo de canal debería limitar su campo de experimentación a modelos de buques de bahía, fluviales o lacustres, más que a naves de alta mar, puesto que de esta manera la relación de escala que existe es menor, con lo cual se minimizan en parte los efectos de escala.

Este, que es uno de los argumentos más importantes que se mencionan en contra de los pequeños canales, es un tanto débil ya que existen algunos científicos como K. Th. Braun que piensan que sería preferible que las embarcaciones de este tipo (fluviales, lacustres, de bahía y algunos costeros) sean ensayadas en los grandes canales, ya que las predicciones hechas para estos últimos en viaje de prueba, prácticamente no cambian en la condición de servicio, o si lo hacen, la disminución de FN, número de Froude, no es tan marcada al pasar de la misma condición de viaje de pruebas a la condición de servicio, como en los buques grandes. Y se podría para estos buques grandes, utilizar con la misma confianza un canal grande que uno de porte pequeño, ya que, aunque generalmente las predicciones se realizan para viaje de pruebas, para la condición de servicio quedan ambos en situación igualmente limitados.

Y es esta última la situación que enfrentará el buque durante un 80 a 90% de su vida útil.

Finalmente, como resumen puede decirse que un laboratorio de este tipo proporciona la optimización que es necesaria en todas las áreas de ingeniería.

El cuadro siguiente muestra de una manera general algunas de las consecuencias a que se está expuesto en caso de no tener en cuenta consideraciones co-

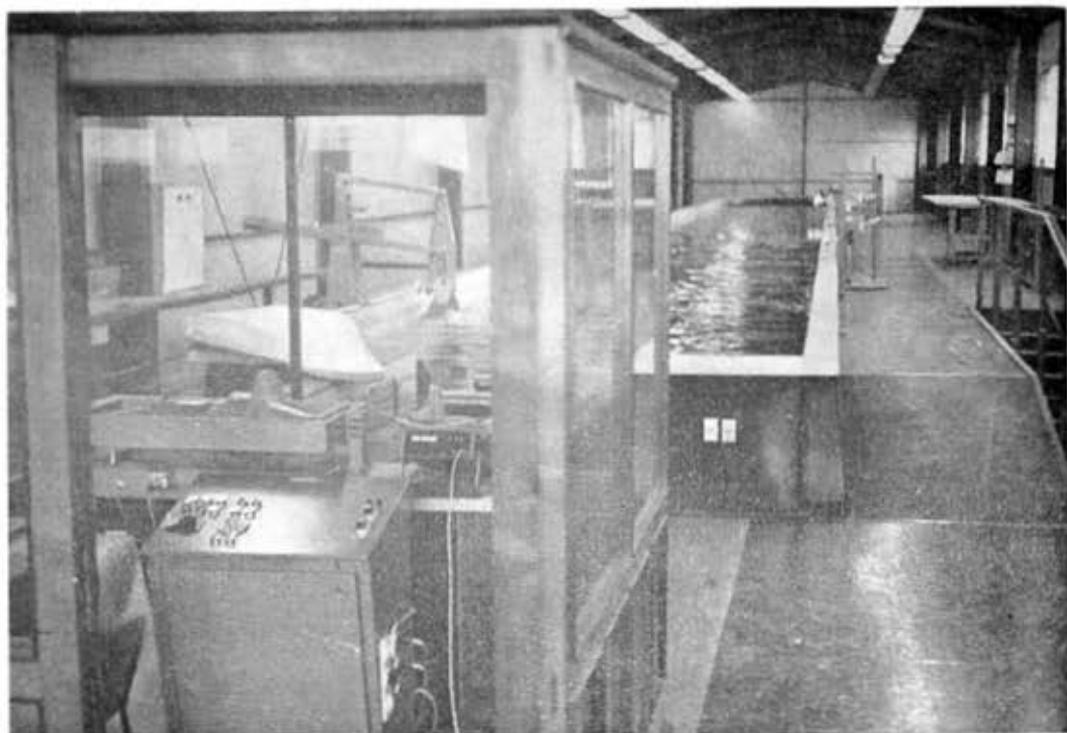
mo las mencionadas. Debe tenerse presente que en general las curvas de potencia en Hidrodinámica y otros son normalmente parabólicas.

Carena no optimizada	}	Resistencia al avance	Muy alta
		Potencia motor	50% (y más) mayor ó 2 a 3 nudos menos velocidad.
		Interacción con propulsor	Mala; pérdida rendimiento
		Gasto de combustible	Bastante mayor (en % similar a exceso de potencia).
Propulsor no óptimo	}	Rendimiento	Bajo 20% (y más) menor respecto de óptima.
		Potencia motor	No es absorbida por la hélice (se pierde 30 y más % de potencia o la velocidad alcanzada es menor; las RPM motor no llegan a las máximas continuas o no se alcanza por máximo de motor).
		Gasto combustible	Mayor
Timón no óptimo	}	Rendimiento	Malo
		Resistencia al avance	Mayor
		Comportamiento del buque en maniobra	(Diámetro táctico y de giro altos y reacción lenta).
		Potencia máquina de timón	Mayor (mayor costo inicial, de mantención y operación).
		Dimensionamiento estructural	Mayor

Canal de Pruebas de Valdivia - Chile

El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de Chile es resultado de un Convenio entre Chile y la ONU, la que, a raíz de la Tercera Conferencia de Comisio-

nes de la Agencia UNESCO de Naciones Unidas para el hemisferio Occidental, realizada en 1961, determinó que "fuera creado un Centro de Estudios de Construcción Naval en base a la Escuela existente en la Sede Valdivia de la Universidad Técnica del Estado".



Vista interior del Laboratorio de Hidrodinámica Naval

Depto. de Construcción Naval
Universidad Técnica del Estado
Valdivia

En 1966 la Agencia UNESCO y el Gobierno de Chile, además del fondo especial, como organismos financieros, crearon dicho Centro.

Los objetivos fundamentales que se tenían en vista se referían principalmente al mejoramiento del nivel de enseñanza universitaria y a la vez el generar un Centro de Estudios e Investigación especializado que pudiera servir como organismo consultivo y asesor para Astilleros y Armadores, capacitado además para emprender en un futuro la tarea de establecer o recomendar normas relativas a la construcción naval nacional.

El Canal de Pruebas, como instalación indispensable en una institución destinada a dar instrucción avanzada, realizar investigación y asistencia técnica a la industria, se comenzó a proyectar en 1968, terminando su construcción en 1973. En el proyecto y construcción trabajaron paralelamente expertos de la ONU y profesionales de la propia Universidad.

En la actualidad ha sido destinado principalmente a la docencia universitaria, pero mantiene sus puertas abiertas

como laboratorio de consulta y asesoría técnica a Astilleros y Armadores nacionales.

El canal propiamente tal se encuentra ubicado en los terrenos que ocupa la Universidad Técnica del Estado en la ciudad de Valdivia.

Está construido completamente en acero soldado y sobre el nivel del terreno, soportado libremente por apoyos especiales que le permiten recuperar su nivelación ante la eventualidad de movimientos sísmicos.

Típicamente los canales son construidos a nivel del terreno y en concreto armado; en este caso se desechó tal tipo de construcción ante la necesidad de contar con una instalación liviana, de acuerdo a las características mecánicas de los terrenos, ubicados prácticamente a orillas del río Calle-Calle. Sus dimensiones principales son:

Longitud: 45 m.

Ancho: 3 m.

Altura: 2 m.

Profundidad de agua: 1,8 m.

En uno de sus extremos está dotado de una sección menor denominada puerto de trimado y que como su nombre lo indica, está destinada para ubicar el modelo en el gancho de remolque y colocar y adecuar el lastre que corresponda a las condiciones de trimado y desplazamiento. Para la verificación de estas flotaciones y trimado y para hacer una revisión de las condiciones de la carena preparada para el ensayo, existen ventanillas a través de las cuales se puede observar perfectamente el modelo.

La distribución general del canal y una descripción general de la estructura, apoyos y sección transversal pueden apreciarse en la Fig. 2.

Equipo e instrumentos

El equipo de remolque fue diseñado y construido por Kempf y Remmers de Hamburgo. Consiste básicamente en un winche de remolque (Fig. 3) accionado por motor eléctrico de 0,25 KW DC,

que tiene incorporada una polea que porta el cable y gancho de remolque que va de un extremo a otro usando una polea similar independiente, ubicada en el extremo opuesto al equipo.

Incorpora además a estos elementos una balanza de alta precisión que contiene un elemento sensor de bronce-berilio, convenientemente protegido de la humedad; la oscilación de esta balanza es controlada por un amortiguador de silicona. El transductor está convenientemente protegido con topes para sobrecargas.

La calibración mecánica de la balanza se realiza mediante un peso móvil que introduce valores conocidos de par; sirviendo además para ampliar el rango de medición, puesto que permite cargar la balanza con valores conocidos antes de realizar una medida. El registro y medición de resistencia se hace a partir de las señales del sensor, las que son amplificadas y graficadas en un registrador C.R. Phillips PM 8010 usando 2 de sus canales para registrar velocidad y resistencia

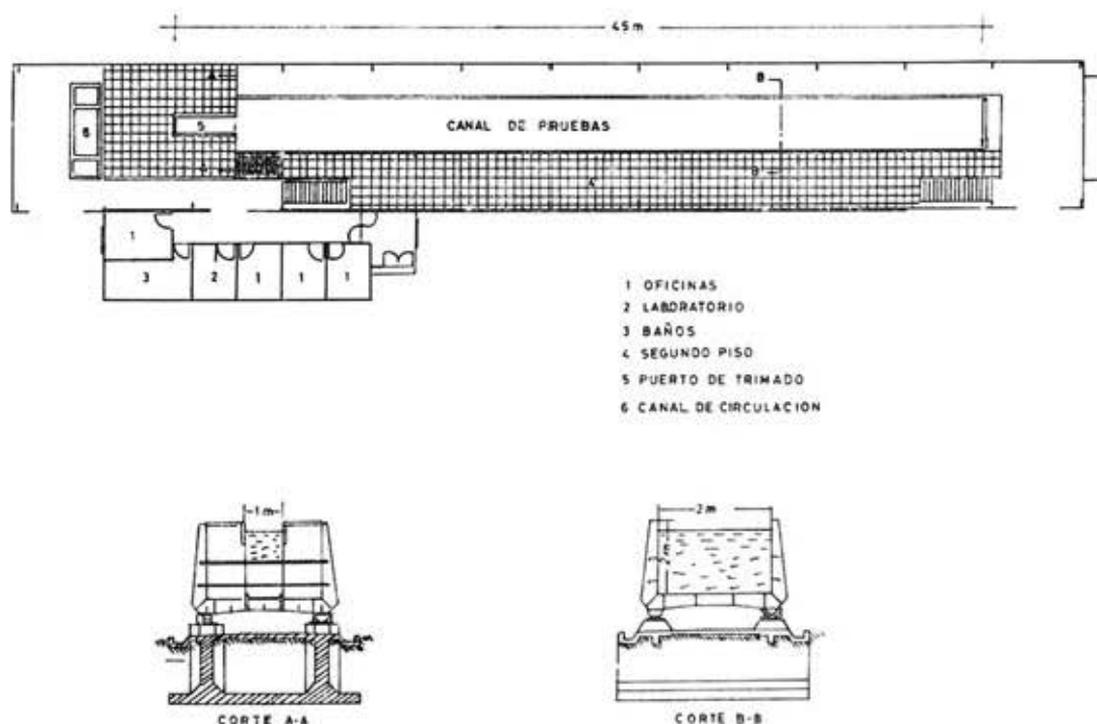


FIG 2

DISTRIBUCION GENERAL DEL LABORATORIO DE VALDIVIA

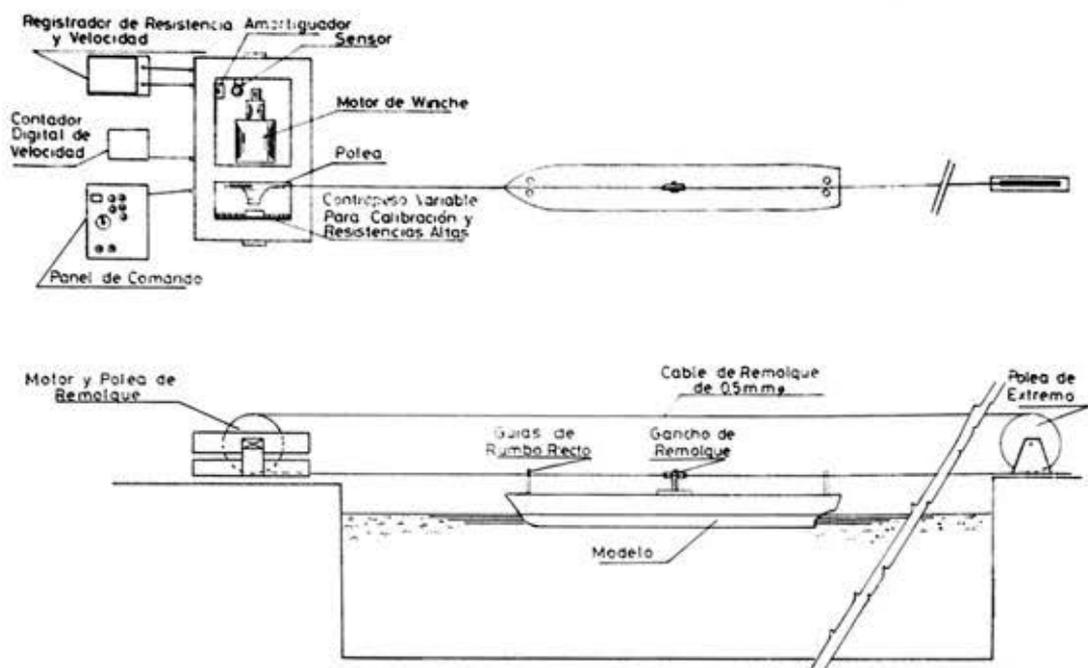


FIG 3

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE VALDIVIA

respectivamente, ambos con 12 escalas y referencias variables en 5 posiciones. La calibración de este registrador y el control de la velocidad en el ensayo se obtiene instantáneamente de un tacómetro electrónico acondicionado en el eje del winche de tracción y cuyos pulsos son mostrados al operador del equipo en un contador universal 9835 RACAL (2 canales) con una precisión de 1 mm seg. y a razón de 1 pulso por mm. de recorrido del modelo.

El cable de remolque es de acero inoxidable de alta resistencia de 0,5 mm. de diámetro, el que una vez ubicado en las poleas de cada extremo, es tensado por medio de un pequeño tambor engranaje contenido en el gancho de conexión del cable al modelo. Para una corriente límite de 4 A. en el inducido del motor del winche y una partida sin resbalamiento del cable de la polea se necesita una tensión previa de aproximadamente 25 Kgs., la que es ajustada con una llave de torque apropiada.

Debido a que el equipo se opera en un extremo del canal, existe en el extremo opuesto una célula fotoeléctrica que detiene el modelo automáticamente.

Existen además cables de freno que se tensan mediante 2 motores eléctricos que se ponen en funcionamiento automáticamente al encender el equipo desde el tablero de control y mando de los distintos aparatos.

Se trabaja además en la actualidad en poner en marcha el equipamiento para el ensayo de propulsor aislado y autopropulsión que debido al sistema de remolque instalado (winche) se dificulta más de lo normal. No se describirá en esta oportunidad, ya que aún se encuentra incompleto.

Entre los ensayos que se está ya en condiciones de efectuar se pueden mencionar:

- 1) Ensayo de remolque
- 2) Ensayo de estela nominal
- 3) Ensayo de líneas de corriente
- 4) Ensayo de perfil, interferencia y sistema resultante de olas
- 5) Ensayos para la determinación de trimados e inmersión en función de la velocidad

- 6) Ensayos de lanzamiento
- 7) Ensayo de estabilidad.

Adjunto al canal de remolque se encuentra un túnel de circulación vertical abierto a la atmósfera que posibilita estudios cualitativos del comportamiento de algunos apéndices y aparatos (timones, arbotantes, quillas de balance); éste cuenta con una sección de trabajo de 1,25 m. de ancho y 0,4 m. de profundidad con ventanillas de observación a través de 2 m. de longitud del canal.

Como complemento para los ensayos y estudios a realizar, cuenta el canal con un completo laboratorio y equipo fotográfico y una pesa de estabilidad para modelos.

Modelos

Los modelos usados tienen como dimensión media máxima 2,5 m. Construidos principalmente en madera y eventualmente en plástico reforzado (ya que en remolque con winche no existe la posibi-

lidad de deslastrar los modelos desde el exterior).

Su construcción se hace ensamblando sucesivos planos de flotación, trazados en madera y ajustando las formas con plantillas. Actualmente se ocupan aproximadamente de 200 a 250 horas-hombre en su construcción.

Su terminación exterior es generalmente pintura.

Temperaturas

Las temperaturas extremas en el agua del canal en verano se encuentran alrededor de 18° C y en invierno próximas a 8° C.

Debido a su instalación en acero sobre el nivel del terreno, se hizo un registro de temperaturas en diferentes zonas de la longitud del canal, viendo de esta manera las variaciones de temperatura existentes, obteniendo como resultado una mayor homogeneidad de las temperaturas del agua que en algunas instalaciones similares en concreto armado y bajo el nivel del terreno.

NAVIO VICTORY

RESULTADOS DE CANAL PARA POTENCIA DE REMOLQUE DE DIFERENTES LABORATORIOS
Y COMPARACION DE RESULTADOS CON ENSAYO REALIZADO EN EL CANAL DE PRUEBAS
DEL LABORATORIO DE HIDRODINAMICA NAVAL DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DEL ESTADO

SEDE VALDIVIA

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

ESLORA EN FLOTACION	135.56 m
MANGA	18.90 m.
CALADO EN CARGA (EVEN KEEL)	6.687 m
VOLUMEN DESPLAZADO	15.019.00 m ³
SUPERFICIE MOJADA	3.686.40 m ²
COEFICIENTE DE BLOCK C _B	0.688
COEFICIENTE PRISMATICO C _p	0.696
COEFICIENTE PLANO DE FLOTACION C _w	0.739

LABORATORIO	MODELO N°	ESCALA	EXCITADOR DE TURBULENCIA	COEFICIENTE DE FRICCION	CURVA
INST NAZ. PERSTUD. ARCHITELT NAVALE	C-685	1:23	NO	FROUDE	1
D. TAYLOR MODEL BASIN	3801	1:22.25	ALAMBRE	SCHOENNERR (ATT C)	2
HAMBURGISCHE VERSUCHS ANSTAITZ	332	1:30	FAJA DE ARENA	FROUDE	3
UNIVERSITY OF MICHIGAN	613	1:48	ALAMBRE	SCHOENNERR (ATT C)	4
I. P. T.	9	1:60	PINS	SCHOENNERR (ATT C)	5
UNIV. TECN. DEL E. VALDIVIA	1-002	1:50	ALAMBRE	SCHOENNERR (ATT C)	6

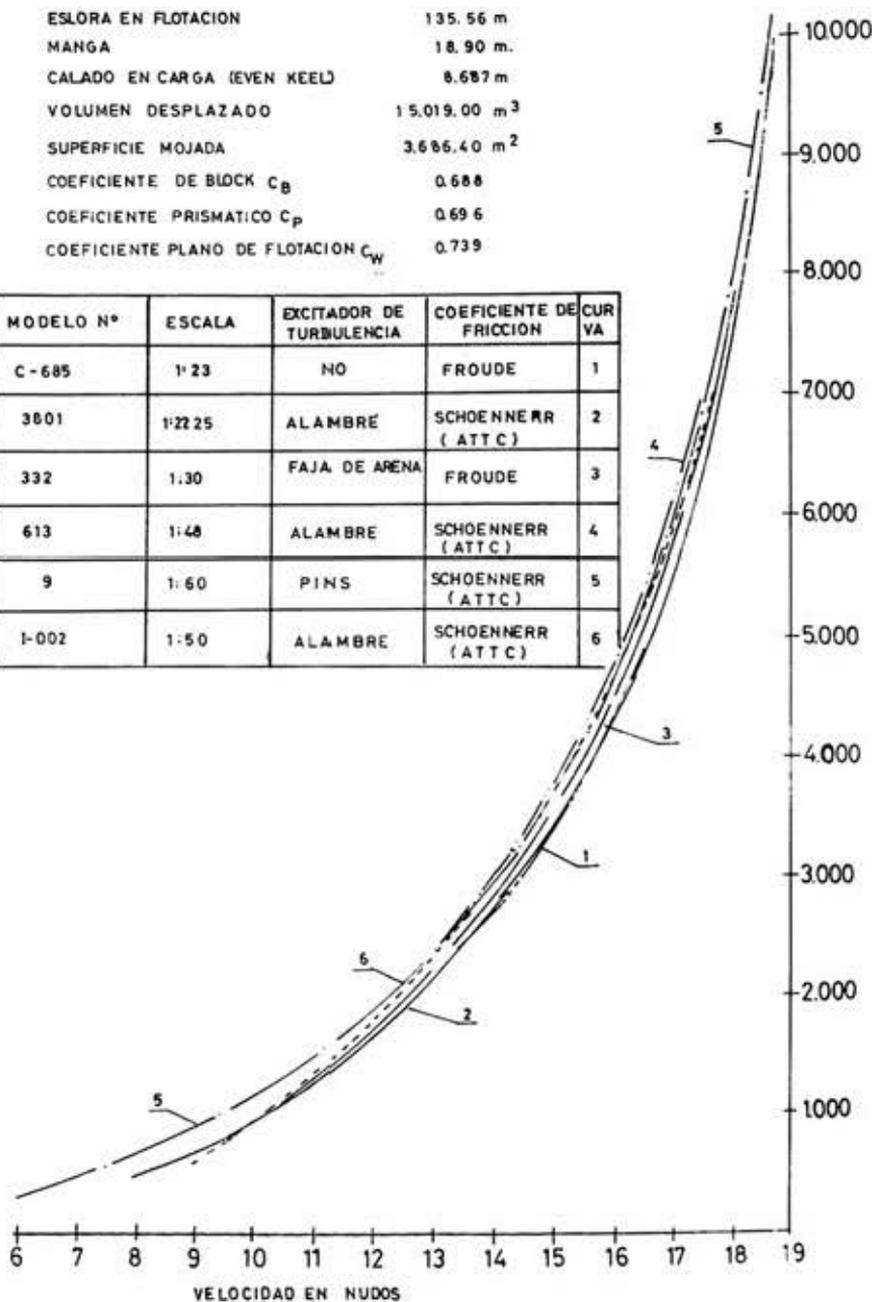


FIG. 4

T A B L A 1.
Canales de Experiencias Pequeños

	Año Inauguración	Sección Transv. m ²	Longitud m.	Ancho m.	Profund. m.	Esfera máxima de modelo (promedio)	Velocidad máxima de remolque
1. Yokohama Yacht Co. Ltd. I	1940	0.40	21.5	1.00	0.40	0.79	3.20
2. Technische Hogeschool, Delft II	1961	1.44	94.8	2.88	0.50	3.05	2.75
3. Engineering School, Turquía	1949	1.49	35.0	1.86	0.80	1.22	3.00
4. Universidad de Adelaide	1955	1.49	33.83	1.22	1.22	1.22	
5. Yokohama Yacht Co. Ltd. II	1940	1.80	6.50	2.00	0.90	0.79	5.20
6. Hy A Hydro 'og Aerodynamisk Laboratorium Lingby	1959	1.98	18.9	1.98	1.00		
7. Universidad de la Marina Mercante, Kobe	1955	2.04	35.0	1.85	1.10	1.40	1.22
8. Academia Naval de Annapolis, U.S.A.	1958	2.24	26.2	1.83	1.22	1.83	6.10
9. Collins Marine Laboratory, Iowa, U.S.A.	1959	2.24	27.45	1.83	1.22	1.52	6.96
0. Skipsmedeltanken Norges Tekniske Hogskole Trondheim, Noruega	1939	2.56	26.8	2.80	0.91	1.83	
1. Newport News Shipbuilding & Dry Dock Co.	1938	2.98	17.1	2.44	1.22		
2. Universidad de Southampton	1962	2.98	26.8	2.44	1.22	1.22	1.59
3. CBK - 51 Gorkij	1938	3.00	16.0	3.00	1.00		
4. Massachusetts Institute of Technology	1952	3.20	32.9	2.62	1.22	1.83	7.6
5. Universidad de Trieste	1958	3.54	32.5	2.60	1.36	1.35	2.50
6. Davidson Laboratory, Hoboken	1935	3.75	31.4	2.74	1.37	3.96	6.40
7. Institute of Technology, Haifa	1961	3.75	45.2	2.50	1.50	2.44	3.05
8. Universidad de Minnesota (Minneapolis)	1938	5.07	76.2	2.74	1.83	1.83	7.70
9. Universidad de Génova	1947	4.42	47.9	2.80	1.58	2.13	2.75
10. Universidad de California (Berkeley)	1954	4.46	61.0	2.44	1.83	1.52	1.83
11. Politechnika Gdanska (Dinamarca)	1956	4.50	30.5	3.00	1.50	1.83	4.57
12. Webb Institute of Naval Architecture, N.Y.	1949	4.65	28.35	3.05	1.52	4.52	4.88

Canales de Experiencias Pequeños

Año Inauguración	Sección Transv. m ²	Longitud m.	Ancho m.	Profund. m.	Eslera máxima de modelo (promedio)	Velocidad máxima de remolque
1953	4,92	56,7	2,70	1,83	1,52	4,00
1921	5,20	60,0	3,00	1,40	1,52	3,95
1953	5,20	36,6	3,66	1,42	2,44	5,50
1941	5,31	43,5	3,05	1,74	2,44	6,15
1958	5,40	70,0	3,00	1,80	2,50	3,00
1958	5,40	35,0	2,70	2,00	2,50	
1961	5,57	152,4	3,60	1,22	4,57	6,16
1956	6,25	76,2	3,60	1,71	2,75	12,20
	6,42	21,35	2,65	1,42		
1949	6,70	95,5	3,66	1,83	3,05	12,20
1962	7,20	72,0	3,60	2,0	3,05	4,00
1954	7,50	66,5	3,00	2,5	1,52	3,15
1967	7,60	55,0	3,80	2,0	2,00	3,50
1956	7,87	102,5	3,50	2,25	2,5	7,60
1933	7,98	76,0	2,66	5,00	1,80	5,00
1932	8,00	63,0	4,00	2,00	2,50	2,50
1956	8,51	60,0	3,70	2,30	3,66	4,70
1937	9,10	80,0	3,50	2,60	2,50	6,00
1958	9,30	91,5	3,00	3,05	2,85	9,15
1953	9,90	50,5	3,60	2,75	2,50	3,00
1961	10,56	144,0	4,20	2,52	3,05	2,75
1953	10,77	54,9	4,40	2,44	2,74	5,95
1963	11,16	76,2	4,60	2,44	5,18	
1932	13,20	34,5	6,00	2,20	3,50	4,00
1940	13,75	36,0	5,50	2,50	3,95	2,00
1961	15,00	55,0	5,00	3,00	3,00	6,0
1924	16,0	40,0	6,40	2,50	3,00	6,0
1967	16,5	80,0	5,0	3,5	3,00	6,0
1883	17,93	91,5	6,9	2,6	6,10	9,5

23. Universidad de Sidney
24. Tekniska Hogskola, Estocolmo
25. Newcastle upon Tyne (King's College)
26. David Taylor Model Basin (Washington) IV
27. Universidad de Osaka (Prefectura de Sakai)
28. Escuela Nacional Superior de Nantes
29. Khadakwaska (India)
30. Fluid Dynamics Laboratories at Saunders Roe
31. Northwestern University (Evanston) III
32. Davidson Laboratory Hoboken III
33. Universidad de Buenos Aires
34. IBH Brodarski Institut, Zagreb III
35. Escuela Técnica Superior de Ing. Navales (Madrid)
36. Meguro Model Basin, Tokyo II
37. Universidad de Kyushu (Fukuoka, Japón)
38. Ministerio de Agricultura, Tsukishma, Tokyo
39. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo
40. Universidad de Tokyo (Tokyo)
41. Universidad de Iowa (Instituto de Hidráulica)
42. Universidad de Yokohama
43. Technische Hogeschool Delf I (Holanda)
44. Indian Institute of Technology
45. Universidad de Glasgow
46. Institut Wodi Transport, Odessa
47. Instituto Tecnológico de Leningrado
48. Universidad de Rostock
49. Escuela de Ingeniería de Hamburgo
50. Universidad de Hiroshima
51. Denny Experimental Tank, Dumbarton

Canales de Experiencias Pequeños

	Año Inauguración	Sección Transv. m ²	Longitud m.	Ancho m.	Profund. m.	Eslera máximas de modelo (promedio)	Velocidad máxima de remoique
52. Universidad de Michigan, Ann Arbor	1961	18,71	114,0	6,46	2,9	4,26	6,10
53. Instituto de Investigaciones Navales de Turquía, Estambul	1955	23,2	76,8	6,10	3,8	3,66	3,0
54. Phoejang P. R. de Corea	1958	24,7	50,0	6,5	3,8		
55. Universidad de Osaka	1962	25,9	80,0	7,0	3,7	6,00	4,0
56. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (ampliación)	1963	26,8	142,0	6,7	4,0	3,66	4,7
57. Kiev		28,0	80,0	7,0	4,0		
58. Bucarest		28,0	60,0	7,0	4,0		
59. Chalmers Tekniska Hogskola, Goteborg	1959	41,3	90,5	9,0	4,57	5,50	9,15
60. Royal Navy Engineering Officers School (Plymouth)			9				
61. UNIVERSIDAD TECNICA DEL ESTADO, Valdivia, Chile	1973	5,4	45,0	3,0	1,8	2,00	4,0