



# **"Desarrollo de técnicas de modelación de artes de pesca en el Canal Hidrométrico de la Facultad de Ingeniería"**



**Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental  
"Prof. Ing. Oscar J. Maggiolo"  
Facultad de Ingeniería - Universidad de la República**

Montevideo, Agosto de 1997.

**Desarrollo de técnicas de modelación de artes de pesca en el Canal Hidrométrico de la Facultad de Ingeniería**

Ing. Jorge Freiria  
Ing. Pablo Badano

**Dirección del proyecto**  
Ing. Fritz Kuhlemann (†)  
Ing. Daniel Schenzer

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)  
Facultad de Ingeniería - Universidad de la República  
Montevideo, Uruguay

**Resumen**

*El proyecto "Desarrollo de Técnicas de modelación de Artes de Pesca en el Canal de la Facultad de Ingeniería" remarca como prioridad un objetivo estratégico: la consolidación de un equipo científico - técnico en torno al Canal Hidrométrico y de Pruebas Navales y Pesqueras, con la capacidad de encarar y solucionar los problemas técnicos que pueda eventualmente afrontar la flota pesquera nacional, desarrollando para ello la capacidad de modelación física de artes de pesca; se podrá ofrecer este servicio a las pesquerías nacionales y en general, a flotas pesqueras de otras nacionalidades que operan en la región.*

**Abstract**

*The project "Fishing gear modeling technics development at the*

*Engineering School Test Tank" involved an strategic objective: to consolidate an specialized scientific and technical team working around the Hydrometric and Test Tank. This team would be responsible of investigate all related with fishing gear engineering and develop this area in order to offer a technical service to national and international fishing fleet.*

El objetivo inmediato de la investigación fue desarrollar técnicas acordes a esta instalación de dimensiones reducidas, y comprobar que la misma ofrecía condiciones de modelación adecuadas. Cuando se habla de desarrollar técnicas de modelación se refiere a la construcción de sistemas de sujeción y sistemas de transmisión de esfuerzos del modelo al instrumental instalado y la configuración de operaciones sistemáticas para el registro fotográfico. Una vez acondicionados todos los elementos para poder realizar los ensayos, se comprobará la aptitud del canal para la modelación de artes de pesca; esto significa determinar que los resultados obtenidos en los modelos representaran coherentemente la realidad una vez corregidos mediante los correspondientes coeficientes de bloqueo. Si bien no se planteó la determinación de estos coeficientes en esta etapa dado que se utilizó un modelo distorsionado de red, la evaluación con un modelo matemático ya comprobado permitirá definir en una primera aproximación la calidad de los resultados.

## La pesca en Uruguay

A partir de principios de la década del setenta se produce un desarrollo muy importante de la flota de arrastre, debido principalmente a dos factores. Por un lado el reconocimiento por parte de los organismos correspondientes de la existencia de abundantes recursos demersales constituidos principalmente por la merluza. Por otro, la firma de la Ley de Pesca (1969) al amparo del Tratado del Río de la Plata, que posibilita la explotación conjunta con la República Argentina del llamado Frente Marítimo. Paralelamente comienzan a funcionar varios establecimientos de procesamiento de pescado que brindan una cantidad importante de puestos de trabajo. Este hecho llevó a que hoy en día la pesca sea una importante vía de ingreso de divisas al país y fuente laboral para muchas familias que dependen directa o indirectamente de esta actividad. Los recursos existentes en la zona de influencia uruguaya son muy vastos. Existen cerca de 70 especies de peces de importancia comercial, comprendiendo tanto la pesca de agua dulce (16 especies) como la de agua salada (56 especies). De todas estas especies, se cuenta con estimaciones de las biomásas explotables de forma sostenida solamente en algunos casos, como ser el principal recurso demersal, es decir, la merluza, la que se estima en 200000 ton/año, así como también de la corvina, 50000 ton/año y de la pescadilla, 40000 ton/año.

El desarrollo de las pesquerías en Uruguay se ha dado principalmente desde el año 1975, cuando se implantó el Plan Pesquero por parte de INAPE. Estas pueden ser clasificadas en dos amplios grupos: las pesquerías de altura, con una dedicación principal a la captura de merluza y calamar, y la costera, dedicada principalmente a la captura de corvina y pescadilla. Si bien es claro que la industria pesquera nacional ha aumentado en su importancia desde la implantación del plan pesquero de 1975, este desarrollo presenta ciertos altibajos. La flota pesquera también ha ido evolucionando de manera irregular, pero en la actualidad y desde hace algunos años está en proceso de crecimiento. En el año 1995 la misma estaba compuesta por 93 embarcaciones de porte mediano (más de 10 T.R.B) dedicada a la pesca costera y de altura, las cuales en promedio tenían un tonelaje de registro bruto de 236.6 T.R.B. y una potencia promedio de 706 HP. La flota artesanal en el año 1995 consistía de una importante cantidad de embarcaciones pequeñas dedicadas fundamentalmente a la pesca costera (hasta 40 millas de la costa): 865 embarcaciones de 1.5 T.R.B y 14 HP, en promedio. Se cuenta, en general, con modernos equipos de pesca, estando el equipamiento básico formado por ecosondas, navegación satelital, instalaciones de radio frecuencia, todo lo cual permite emplear las técnicas de pesca más modernas. La misma es principalmente una flota de arrastre ya que más del 90% emplea métodos y artes de pesca al arrastre en sus diversas modalidades. Los otros

métodos más empleados son enmalle, palangre y longline.

En cuanto al empleo de mano de obra, durante el año 1995 la ocupación total en el sector pesquero fue de 6294 plazas, en el sector comercial y 2773 en la pesca artesanal. Dentro del sector comercial, las plazas de la industria pesquera fueron 2823 y las plazas a bordo fueron 3471. Puede concluirse que, globalmente, en la actualidad la pesca implica fuentes de trabajo para alrededor de 9000 personas, lo que significa el sustento para tan importante número de familias. Por tanto, no resulta muy exagerado pensar que más de 30000 personas están directa o indirectamente relacionadas con la pesca en nuestro país.

Puede establecerse que el desarrollo de la pesca como actividad productiva en Uruguay se basa fundamentalmente en las ventajas comparativas que la destacan ampliamente sobre otras actividades, siendo las más remarcables las que se enumeran a continuación:

*1) Gran variedad de especies, la mayoría de las cuales se encuentra sin explotar o con un nivel bajo de explotación, lo que ofrece una diversidad de oferta importante atendiendo al mercado externo y al consumo interno.*

*2) Existencia de una abundante biomasa explotable, que supera los varios cientos de miles de toneladas*

*métricas, de un recurso que tiene la característica particular de ser renovable.*

*3) Grandes facilidades portuarias y costeras, que favorecen tanto la navegación como la prestación de servicios o la instalación de establecimientos afines con la actividad pesquera.*

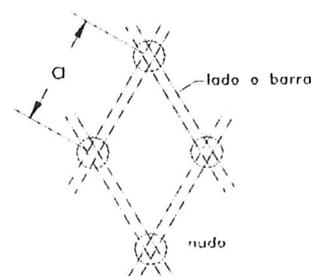
Estas circunstancias, sin embargo, no han sido capitalizadas en su totalidad debido principalmente a la falta de una infraestructura nacional sólida, sobre todo desde el punto de vista tecnológico, que sirviera de soporte para el desarrollo de esta industria. A modo de ejemplo puede mencionarse que la mayor parte de la flota pesquera no fue construida en el país; por otro lado, las artes utilizadas son modificaciones de diseños de artes provenientes de países europeos (España, Alemania, Dinamarca) sobre la base de la experiencia de cada patrón de pesca; tampoco existe una buena estructuración en cuanto a la investigación de los recursos, y es escasa la investigación y desarrollo de una tecnología nacional destinada a resolver los problemas de la industria pesquera, que se sustente en una formación profesional acorde en Ingeniería Pesquera. Esta carencia está imponiendo un techo importante al desarrollo de dicha industria, lo cual genera varias situaciones que comprometen su futuro. Otros problemas se agregan a los mencionados: falta de diversificación de la explotación, existiendo una dependencia muy marcada con

respecto a la captura de la merluza para su exportación; explotación deficiente de otras especies de acuerdo a los niveles previstos de su biomasa, posiblemente debido a la aplicación acrítica de métodos y artes en uso, sin atender a las múltiples diferencias tanto biológicas como de comportamiento que existen entre las distintas especies y que juegan un papel preponderante a los efectos de su captura. La situación es aún peor en relación a ciertas especies exóticas para las que existiría un potencial mercado comprador; esto se debe a que ni siquiera se intenta realizar su pesca a nivel industrial por carecer de artes mínimamente apropiadas.

### **Características principales de las artes de pesca**

Las artes de pesca comerciales son sistemas de ingeniería muy especiales debido a su cometido particular, a las condiciones de operación y a sus características mecánicas. El 90% de las artes usadas en la actualidad para la pesca industrial emplean como elemento principal una red y en adelante se hará referencia únicamente a este tipo de arte. Los siguientes conceptos permitirán entender ciertas características físicas de las redes como parte principal de las artes de pesca, y que se expondrán más adelante. Las redes son estructuras flexibles constituidas por hilos de fibras naturales o sintéticas, mono o multifilamento, entrelazadas entre sí y conformando un tejido abierto. El elemento más simple de la red es la malla, formada por cuatro lados o barras de hilo y cuatro nudos, cada nudo

conectando dos lados o barras y, típicamente, la forma que adopta cuando es sometida a un sistema de solicitaciones en su plano es del tipo romboidal. Cada malla de la red está rodeada por ocho mallas; cada barra separa dos mallas y cada nudo separa cuatro (fig. 1). Resumiendo, la red es una estructura flexible que está formada por un conjunto de mallas cada una de las cuales se identifican por un nudo y dos barras.



*Fig. 1 - Esquema de la malla de una red.*

La primer característica singular de las artes de pesca es su interacción con seres vivos, principalmente peces. Esto determinará parámetros fundamentales de las mismas, tales como el tipo de red y su material, su forma, tamaño, movilidad, etc. Por otro lado, el comportamiento de los peces en la zona de acción del arte es el problema más difícil de resolver y hoy en el mundo se están dedicando muchos esfuerzos para su investigación. Sin embargo, el éxito de las artes empleadas demuestra que su diseño se corresponde muy bien con el comportamiento de los peces y con las condiciones de pesca reales.

La segunda característica importante de las artes de pesca está relacionada con sus propiedades mecánicas. Las artes de pesca son estructuras flexibles que cambian muy

fácilmente de forma y de posición espacial. Los distintos tipos de artes de pesca, tanto las que se mueven en el agua arrastradas por alguna embarcación, como las que están fijadas en las corrientes de ríos o mares, son, en principio, sistemas espaciales flexibles formados por redes, cabos y otros tipos de elementos que forman su aparejo, todos los cuales están sometidos a la acción de diferentes fuerzas durante la operación de pesca.

La red de un arte de pesca se puede asimilar en muchos aspectos a una cáscara elástica ideal cargada externamente y transmitiendo estas cargas al resto de la estructura de cabos y al sistema de amarre. No obstante esto, la deformabilidad de las artes de pesca por la acción de incluso pequeñas cargas hace que su comportamiento difiera sustancialmente de la mayoría de las estructuras y equipos de ingeniería. Cuando éstos últimos se deforman la estructura usualmente se daña o destruye, mientras que cambios de forma o de posición de las artes de pesca usualmente no disminuyen su resistencia mecánica. Más aún, los cambios de forma y posición son frecuentemente importantes para el éxito de la captura, la que depende de la habilidad de asegurar la forma requerida del equipo en relación al comportamiento de los peces a capturar. De manera que, si bien la resistencia mecánica del arte y de sus componentes es importante, más importante aún es la forma que ésta adoptará bajo las condiciones de operación.

Entonces, al diseñar un arte de pesca, debe calcularse no solamente su resistencia mecánica sino también la forma y posición espacial causada por las fuerzas actuantes. Para determinar la configuración espacial que adoptará el arte debe conocerse la carga actuante sobre cada uno de sus componentes. Tanto la eficiencia del arte como sus dimensiones y también las características de tracción del buque pesquero y de los equipos de pesca dependen de estas fuerzas. Sin embargo, la determinación de las cargas es compleja, ya que a su vez, dependen de la forma y posición, factores que se desconocen y cambian fácilmente. Los sistemas de éste tipo en que los parámetros involucrados dependen del estado se denominan no lineales, ya que los procesos que tienen lugar se describen por ecuaciones diferenciales no lineales. Estas ecuaciones no pueden ser resueltas por superposición lo que impide un estudio analítico por separado.

Las redes, que forman parte fundamental de la mayoría de las artes de pesca, y sus materiales estructurales principales tienen, además de la propiedad de ser flexibles, otras características importantes. En primer lugar, la superficie de la red no es continua dado que las mallas son elementos abiertos. La continuidad existe solamente entre los hilos que la forman y los nudos que conectan los hilos. En segundo lugar, su superficie tiene una estructura rugosa compleja que difiere entre los distintos tipos de redes. Esto es debido a que los

hilos y cabos multifilamento se construyen con cierto grado de torsión. Tanto las distintas hebras de la superficie como la torsión del propio hilo introducen cierto grado de rugosidad que debe ser tenido en cuenta desde el punto de vista hidrodinámico. En tercer lugar, las redes difieren de las cáscaras continuas y elásticas por su anisotropía, razón por la cual la misma red puede adquirir distintas formas y ocupar un área distinta dependiendo de los coeficientes de apertura, los cuales determinan la fijación de la red a la estructura de cables. Esto es en virtud de su continuidad según líneas y no según una superficie. Las tensiones que aparecen en la red debido a las cargas externas varían según la dirección considerada y dependen también de los coeficientes de apertura.

En consecuencia, el cálculo de las cargas actuantes en los hilos individuales es muy complejo. Sin embargo, el problema se facilita por el hecho de que, en muchos casos, tal cálculo no es necesario. Los parámetros del mallado (tamaño de malla, diámetro de hilos, material, dimensiones globales) se determinan principalmente por las dimensiones de los peces a capturar. Al determinar la posición del arte, no es necesario determinar las cargas actuantes en cada hilo individual. Además, la resistencia mecánica de la red durante la captura generalmente es suficiente e incluso puede llegar a ser exagerada, pero el momento crucial para determinar su resistencia es el momento del levante de la

pesca, o sea, cuando se iza o recoge la red llena de peces.

Durante la tarea de pesca el arte de arrastre se encuentra sumergido a cierta profundidad en el mar, la cual depende de las características de comportamiento de las especies que se deseen capturar. La ubicación del arte respecto del fondo marino lleva a la siguiente clasificación:

*1 - Demersales o "de fondo" son las artes que se arrastran sobre el lecho marino.*

*2 - Pelágicas de media agua, las que se arrastran a cierta profundidad intermedia sin tocar el fondo ni la superficie del mar, por lo general hasta 10 m. del fondo.*

*3 - Pelágicas de superficie, las que se arrastran inmediatamente por debajo de la superficie del mar.*

Debido a esta adaptabilidad del método de arrastre para ser empleado en todo tipo de condiciones, es el más empleado en todo el mundo.

### **La pesca de arrastre y características de las artes empleadas**

En el amplio abanico de métodos empleados en la pesca industrial se destaca, por su importancia, el de la pesca de arrastre, el cual en conjunto abarca más del 70% del volumen de captura a nivel mundial. El arte de arrastre, como la gran mayoría de las artes de pesca, está

compuesta por la red como elemento principal y otros elementos que forman su aparejo, los cuales tienen la función de ayudar a que la red adopte la forma más eficiente durante la operación de pesca. La red total está construida en dos mitades: la superior o cielo, y la inferior o fondo. A su vez, tiene simetría según un plano que durante la operación de pesca es vertical y paralelo a la dirección de avance. Está conformada por varios paños de diversos tamaños de malla, más abiertos a la entrada o boca de la red y más densos a medida que se aproximan al fondo o copo donde se acumula el pescado. Estos paños, tejidos entre sí de manera que el aspecto global asemeja una bolsa que se afina hacia el copo, está reforzado por un sistema de cabos relativamente más gruesos que los hilos de la red. Estos cabos transmiten la resistencia al avance dentro del agua de los paños individuales a los cabos de arrastre y éstos al buque de arrastre. De este sistema de cabos estructurales se destacan aquellos que forman los bordes de ataque, denominados relingas: la relinga superior y la relinga inferior, también denominada calón. Por lo general, a la entrada y hacia los costados la red tiene unas prolongaciones verticales de los paños de la boca llamadas alas, que avanzan por delante de la boca de la red.

El aparejo de un arte de arrastre completo está integrado por variados elementos: sobre los bordes de ataque o relingas se colocan los flotadores o corchos a lo largo de la relinga superior, y los pesos o plomos

a lo largo de la relinga inferior. En la antigüedad para obtener una buena apertura horizontal del arte se arrastraba éste a la pareja, es decir, entre dos embarcaciones. Hoy en día este método es poco empleado por su alto costo inherente. En su lugar se utilizan los dispositivos conocidos como portones, que empleando la fuerza de sustentación o "lift" contribuye a obtener y controlar la apertura horizontal de la red. En las artes de este tipo se emplean dos portones, cada una de las cuales se coloca a un lado de la red, y se conecta, de un lado, a las alas y las relingas por un par de cabos llamados bridas y, del otro lado, a la embarcación de pesca a través de los cabos de arrastre. Cabe mencionar también los cables de arrastre que transmiten la tracción del buque, suelen tener grandes longitudes y son muy resistentes. A veces se emplea lo que se conoce como "cometa", elemento que va amarrado a la relinga superior en el plano de simetría y tiene por cometido contribuir a obtener una mayor altura de boca.

### **Teoría de modelación de artes de pesca**

La modelación de artes de pesca de arrastre involucra el estudio de un modelo reducido del arte prototipo del cual se quiere determinar su comportamiento en ciertas condiciones durante la operación de pesca. La efectividad de estos estudios depende de la estricta observancia de las leyes de similitud, las cuales expresan relaciones entre las magnitudes físicas de modelo y prototipo que intervienen en el fenómeno a

00007

estudiar. Las leyes de similitud de las redes empleadas en la pesca, expresadas por Tauti en 1934 y que se expondrán a continuación, se basan en ciertas suposiciones que intentan simplificar el problema de la interacción entre los distintos componentes del arte. Estas suposiciones son las siguientes:

- 1) *el alargamiento de los hilos de cada malla de la red es despreciable*
- 2) *los hilos de las mallas que conforman la red son perfectamente flexibles*
- 3) *la ley de Newton sobre la resistencia hidrodinámica es válida para cada porción de la red, en todo el intervalo de números de Reynolds*
- 4) *todo cambio en la forma de la red ocurre tan lentamente que se puede considerar que el sistema de fuerzas actuantes permanece en todo momento en equilibrio cuasi estático*

La primer regla de similitud que debe ser observada entre modelo y prototipo es la geométrica. Esto implica que los parámetros adimensionales que definen la forma de la red deben ser iguales entre ambas. Por ejemplo, las longitudes de partes correspondientes deben guardar en toda la red una relación constante. Esta relación entre cualesquiera dos longitudes correspondientes de modelo y prototipo se denomina escala de longitudes, se nota  $e_L$ , y se expresa de la siguiente manera:

$$e_L = \frac{L_m}{L_p}$$

donde  $L$  es una longitud característica de la red y los subíndices  $m$  y  $p$  denotan la pertenencia al modelo y al prototipo, respectivamente (en adelante se continuará empleado esta notación). Así,  $L_m$  es la longitud característica de la red modelo y  $L_p$  es la longitud de la red prototipo medida en el mismo lugar que  $L_m$ . Estas dos longitudes se denominan correspondientes.

La similitud geométrica planteada implica que ángulos correspondientes deben ser iguales entre modelo y prototipo, lo que se expresa como sigue:

$$\alpha_m = \alpha_p$$

donde  $\alpha$  denota un ángulo característico de la red.

Además de similitud geométrica, entre modelo y prototipo de un arte de pesca debe existir similitud mecánica. Se establece como hipótesis que la velocidad media de arrastre permanece constante; la introducción de esta suposición significa una simplificación importante al problema de la modelación y al análisis teórico, ya que en este caso el flujo será estacionario y no habrá que introducir la consideración de las aceleraciones instantáneas que implica el flujo variado.

En esta condición de flujo estacionario, el arte como un todo alcanzará una condición

de equilibrio dinámico. Las fuerzas serán de dos tipos: externas (la gravedad y la resistencia hidrodinámica) e internas (la tensión en las mallas y el sistema de cabos estructurales). Las primeras son las que aparecen debido a la acción de campos de fuerzas externas aplicadas sobre la red, así como a la interacción de ésta con el medio que la rodea a través de su superficie. A su vez, las fuerzas internas son debidas a la reacción del material de la red que se opone a las deformaciones a que lo somete el campo de fuerzas externas. En virtud del equilibrio dinámico, las resultantes de ambos campos de fuerzas deben contrarrestarse entre sí. De esto se deduce que en condiciones de similitud mecánica, la red prototipo y su modelo estarán sometidos a un sistema de fuerzas similares cuya resultante es el sistema o tórsor nulo. En esta condición se dice que los flujos en que ambas redes se mueven son similares. Este es, en definitiva, el objetivo último de la modelación física de artes de pesca, ya que, existiendo similitud entre los flujos (garantizada por la similitud geométrica y mecánica de ambos fenómenos), el comportamiento del modelo permitirá conocer cómo será el de su prototipo.

### **Diseño de las experiencias**

Existen dos aspectos muy importantes al momento de evaluar el comportamiento de un arte de pesca. El primero a evaluar es la magnitud de la apertura horizontal y vertical para un rango de velocidades predeterminado. Por otro lado es preciso

determinar la resistencia que aporta el aparejo a la resistencia al avance global del buque, dado que el consumo de combustible determina en forma preponderante el rendimiento global de la operación de pesca, además de determinar un costo inicial que debe ser minimizado. Para ello, y como segundo aspecto relevante, se debe medir la resistencia del aparejo en las condiciones de modelación, para el mismo rango de velocidades.

El modelo empleado en los ensayos corresponde a una red de arrastre de fondo cuyas dimensiones principales se muestran en la fig. 2. La escala global de longitudes entre modelo y prototipo es  $e_L = 1/35$ . Dado que la finalidad de los ensayos fue desarrollar técnicas de modelación adecuadas a la instalación, las escalas para otras magnitudes fueron distorsionadas ligeramente. Se realizó un muestreo con variaciones pequeñas en la velocidad en el intervalo entre 3 y 5 nudos, extendiendo hasta 2 y 8 nudos los extremos del intervalo con variaciones de velocidad mayores midiéndose la resistencia al avance o arrastre para cada una de ellas. La geometría de la red se determina en forma gráfica mediante el análisis fotográfico. La evaluación de las dimensiones del modelo se realiza en base a una grilla centimetrada fotografiada previo a los ensayos, colocada vertical u horizontalmente según corresponda. Esta técnica permite dentro de ciertos parámetros de error, determinados fundamentalmente por la difracción de la imagen del cuerpo en el

agua, determinar las aperturas verticales y horizontales de la boca del modelo, así como las pendientes de su contorno. Fundamentalmente permite un estudio comparativo de las configuraciones que adopta un modelo al ser arrastrado a distintas velocidades, y por tanto determinar la velocidad para una mejor performance del mismo.

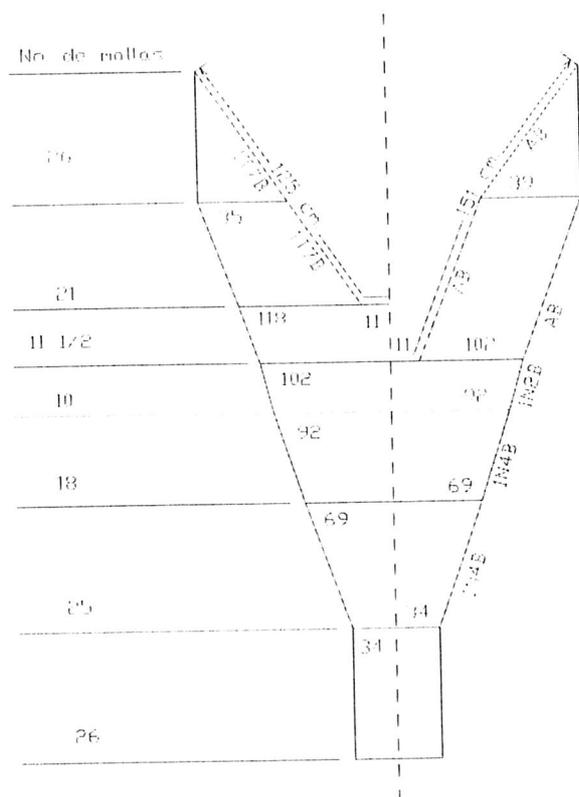


Fig. 2 - Plano de la red empleada en los ensayos, dibujado según norma de FAO.

## Resistencia al avance del modelo

Tabla 1 - Resistencia al avance en función de la velocidad

Velocidad de avance (m/s)	Arrastre (grf) Promedio de ensayos 1 a 6
0.000	0.00
0.294	58.569
0.368	95.598
0.442	136.673
0.473	156.986
0.502	186.273
0.531	219.541
0.560	244.271
0.590	271.243
0.621	298.658
0.650	328.407
0.678	358.507
0.708	389.926
0.738	423.818
0.809	512.185
0.885	610.297
0.957	715.502
1.035	830.683
1.109	952.725
1.182	1084.973

## Configuración geométrica del modelo

Tabla 2 - Configuración geométrica del modelo en función de la velocidad

Velocidad preseleccionada (m/s)	Apertura Vertical (boca) (cm)
0.294	22.09
0.367	21.63
0.441	20.47
0.470	19.30
0.500	18.84
0.529	18.84

Velocidad preseleccionada (m/s)	Pendiente de contorno superior (°)
0.294	12.16
0.367	11.26
0.441	10.39
0.470	9.94
0.500	9.58
0.529	9.39

00010

Velocidad preseleccionada (m/s)	Apertura Horizontal (extremos de alas) (cm)
0.294	40.00
0.367	40.00
0.441	41.56
0.470	41.04
0.500	43.38
0.529	42.86

Velocidad preseleccionada (m/s)	Pendiente de apertura de alas (°)
0.294	11.57
0.367	13.02
0.441	11.63
0.470	11.88
0.500	10.93
0.529	11.26

Las fotografías de la página siguiente corresponden a la configuración vertical y horizontal adoptadas por el modelo en uno de los ensayos para  $v = 0.5$  m/s.

### Análisis de resultados: modelo matemático

A los efectos de comparar los resultados obtenidos con la modelación física, se calculó el arrastre de acuerdo a un modelo matemático desarrollado por Dickson para el modelo ensayado. A continuación se presenta un detalle sintético de dicho modelo. El área proyectada de una malla completa se calcula como:

$$\Lambda_p = 2 ad \cdot \frac{a_p}{a} \cdot \frac{d^2}{\sin 2\psi}$$

En el caso del copo, el cálculo del área total de hilo proyectada se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\Lambda_p = F \frac{d}{a} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\theta}{2}} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

donde F es el área del panel. Se resumen a continuación los coeficientes de arrastre desarrollados por Dickson, para tres posiciones relativas de la malla respecto al flujo; la primera posición es la normal al flujo, la segunda cuando es paralela y la última es una posición intermedia genérica. Es usual a los efectos de los cálculos considerar la siguiente expresión:

$$Q = \frac{d}{2a} \cdot \frac{1}{\sin 2\psi} \cdot \frac{1}{(a_p / a)}$$

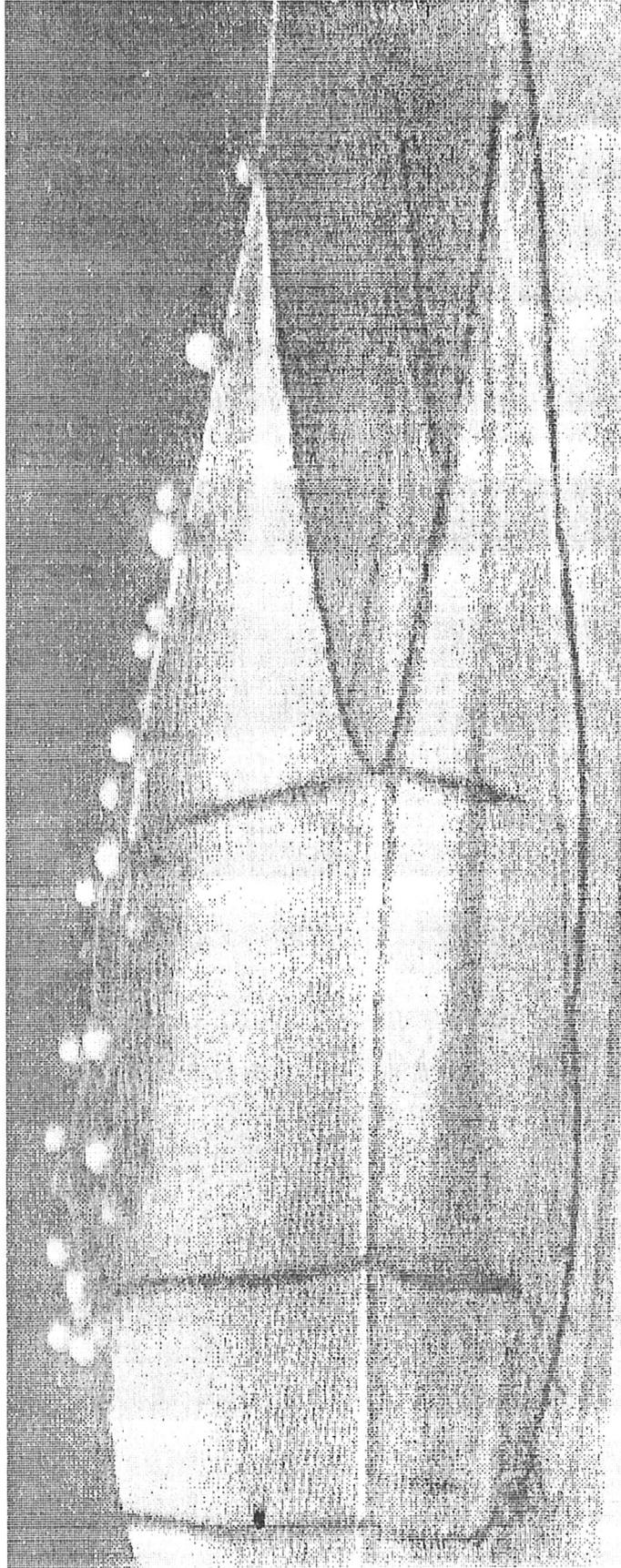
que representa un factor de pérdida de área debido a los cruzamientos de barras que son contabilizados dos veces.

$$\alpha = 90^\circ \quad c_{d90} = \frac{1 - Q}{(1 - 2Q)^4}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

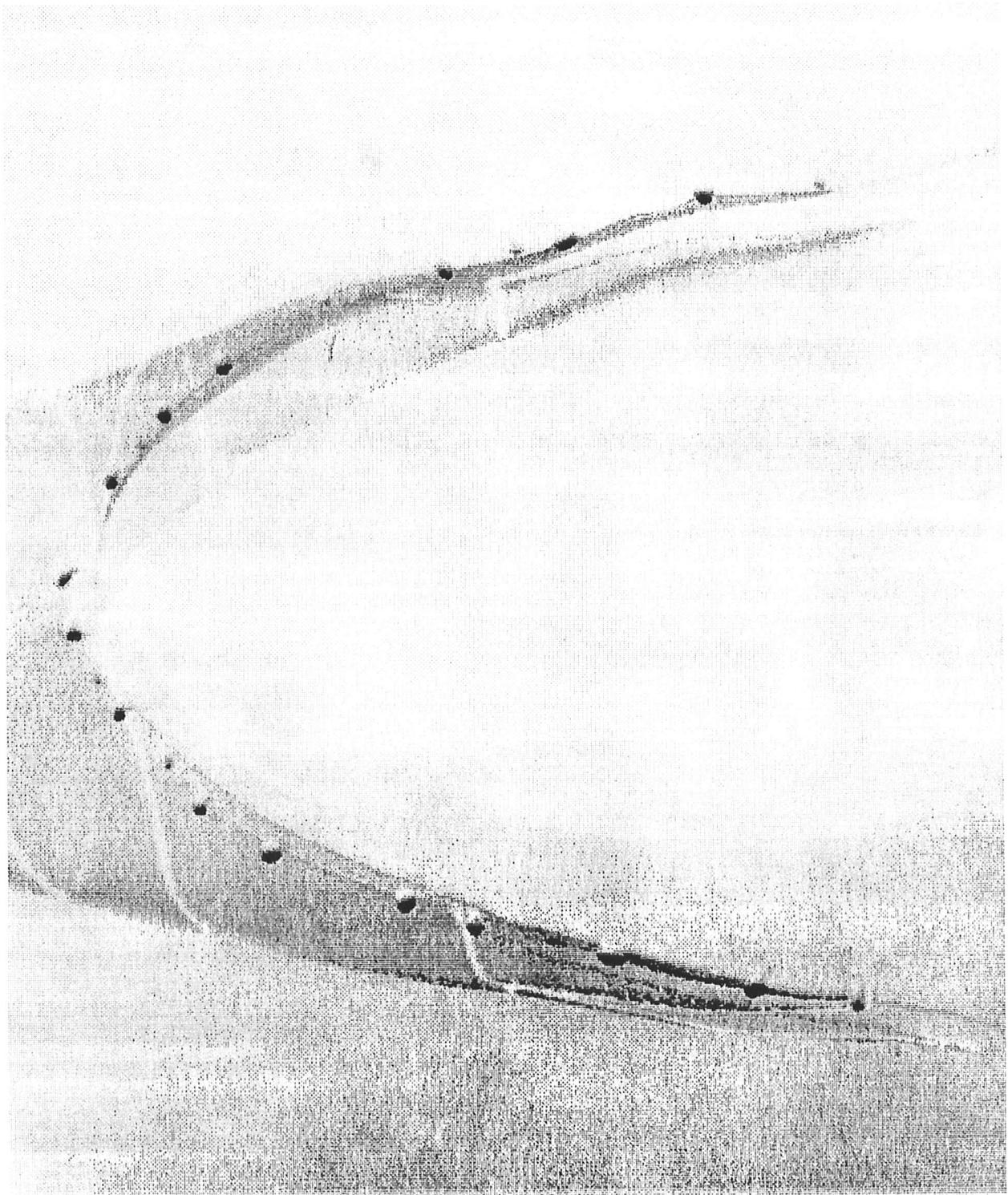
$$c_{d0} = \left( \sin^3 \frac{\theta}{2} + c_f \cos^2 \frac{\theta}{2} \right) \cdot (1 - Q)$$

El coeficiente de fricción depende del material con el cual está confeccionado el hilo, y se considera normalmente  $c_f = 0.07$ . Finalmente, para una posición intermedia  $\alpha$  el coeficiente de arrastre se toma, de



*Fig. 3 - Vista lateral del modelo; velocidad 0,5 m/s.*

00012



*Fig. 4 - Vista horizontal del modelo, velocidad 0,5 m/s.*

acuerdo a lo sugerido por Crewe (1964) como:

$$0 < \alpha < 90 \quad c_{d\alpha} = \frac{1}{2}(c_{d90} - c_{d0}) \cdot \frac{\alpha}{30} + c_{d0}$$

Los cálculos de las áreas de hilo proyectadas y los correspondientes coeficientes de arrastre deben hacerse para cada panel en forma separada. El copo de la red tiene la particularidad que normalmente contiene una porción importante del hilo total, pero como su forma es cilíndrica en lugar de cónica, no contribuye de la misma manera al arrastre que el resto de los paneles. Por esa razón su cálculo se realiza separadamente; Dickson recomienda la aplicación de la siguiente fórmula:

$$c_{d0} = \left[ (u_1^3 + c_r u_2^2) \cdot \left(1 - \frac{d}{a}\right) \right] \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{d}{a} \frac{1}{u_2}}\right)^2$$

para el caso en que se considera un modelo de malla simple sin nudos.

Para el cálculo del arrastre debido a apéndices tales como cables de relingas, flotadores y cables de tiro se utilizó la formulación desarrollada por Kowalski y Giannotti que se resume a continuación.

### Arrastre de cables

$$R_{\text{lineas}} = (C_{D \text{ básico}} \text{sen}^3 \varphi + \Delta C_D) \cdot \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) \cdot (d_1 L_1) \text{ do}$$

nde:

$C_D$  básico es el coeficiente de arrastre de un cable

perpendicular al flujo, normalmente su valor se toma igual a 1.10

$\Delta C_D$  es un valor experimental igual a 0.02

$d_1$  y  $L_1$  son el diámetro y largo del cable respectivamente

### Arrastre de flotadores (esferas)

$$R_{\text{flotadores}} = n_f C_{D \text{ flot}} \cdot \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{4} \pi d_{\text{flot}}^2\right)$$

donde:

$C_{D \text{ flot}}$  es el coeficiente de arrastre de un flotador esférico, cuyo valor se toma normalmente igual a 0.47

$d_{\text{flot}}$  es el diámetro del flotador

Tabla 3 - Valores del arrastre para distintos elementos del aparejo

velocidad (m/s)	Arrastre (gr)			
	cono	copo	flotadores	relingas
0.294	39.883	4.054	6.518	7.112
0.367	66.507	6.292	10.157	11.083
0.441	94.621	9.131	14.666	16.003
0.470	109.317	10.276	16.658	18.177
0.500	132.924	11.029	18.852	20.571
0.529	160.103	12.067	21.103	23.027

velocidad (m/s)	Arrastre (gr)	
	tiros	Aparejo
0.294	1.001	58.568
0.367	1.560	95.599
0.441	2.252	136.673
0.470	2.558	156.986
0.500	2.895	186.271
0.529	3.241	219.541

## Análisis de resultados: modelo físico

El arrastre que experimenta el modelo físico, según se deduce del análisis de los resultados graficados en la fig. 3, se puede representar de acuerdo a la ecuación:

$$R (\text{gr}) = 756,11 \cdot v^{1.6553}$$

Esta ecuación muestra que los resultados se alejan apreciablemente de una dependencia cuadrática de la velocidad. Esta discrepancia se observa normalmente en ensayos con modelos físicos, adjudicándose tal efecto a la variación importante de la geometría de la red con la velocidad o posiblemente debido a efectos relacionados con el número de Reynolds.

*Tabla 4 - Valores del arrastre de acuerdo a: 1) modelo matemático, 2) modelo físico*

Velocidad (m/s)	Arrastre calculado (gr)	Arrastre medido (gr)
0.294	58.6	99.7
0.367	95.6	143.9
0.441	136.7	195.0
0.470	157.0	216.7
0.500	186.3	240.0
0.529	219.5	263.5
0.558	244.3	287.9
0.588	271.2	314.0
0.617	298.7	340.4
0.647	328.4	367.8
0.676	358.6	395.5
0.705	389.9	424.0
0.735	423.8	454.2
0.808	512.2	531.3
0.882	610.3	614.2
0.955	715.5	700.6
1.029	830.7	792.7
1.102	952.7	888.0
1.176	1085.0	988.8

A su vez el modelo matemático aplicado al modelo físico muestra el siguiente resultado:

$$R (\text{gr}) = 798,95 \cdot v^{2.1029}$$

el cual es coherente con los resultados obtenidos con este tipo de modelos matemáticos.

## Conclusiones

Con relación a la investigación propiamente dicha se debe destacar el éxito en el desarrollo de una metodología adecuada para la realización de este tipo de modelación en el canal hidrométrico. Las medidas de tracción y aperturas del modelo muestran resultados verdaderamente alentadores. Se destaca, por una parte, la consistencia con resultados publicados en distintas fuentes bibliográficas, por ejemplo en lo que se refiere al valor de la potencia de la velocidad en la ecuación del arrastre, y por otra, en la coherencia que resultó de la comparación con un modelo matemático, el cual fue desarrollado en túneles con capacidad para trabajar con modelos de mayor tamaño.

Se puede concluir que esta instalación cumple satisfactoriamente los requerimientos de la modelación de artes de pesca, quedando preparada la siguiente etapa que consistirá en la determinación de los coeficientes de bloqueo aplicables a este tipo de modelación. La determinación de los coeficientes de bloqueo, que no fueron calculados debido a que se trabajó con un modelo distorsionado, permitirá la aplicación efectiva de los resultados en redes comerciales.

Resistencia al avance de una red a escala reducida

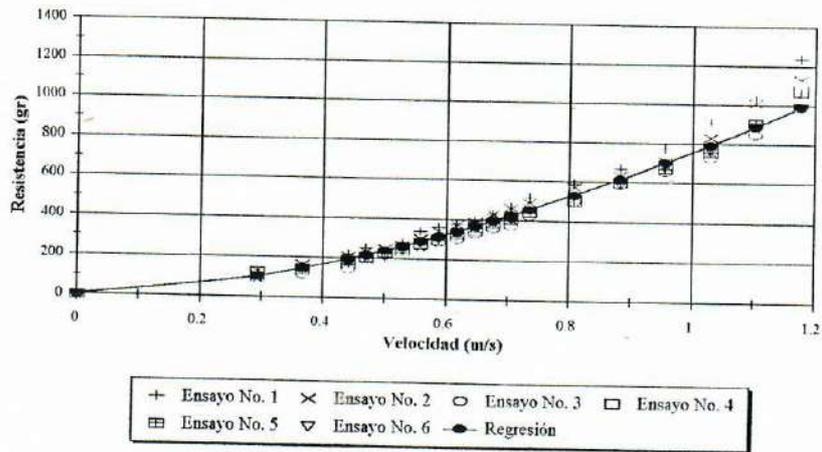


Fig. 5 - Resistencia al avance del modelo en función de la velocidad.

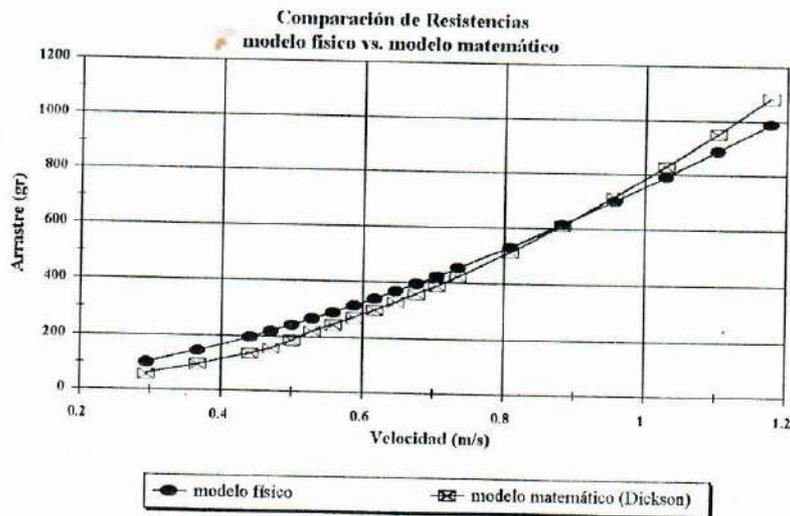


Fig. 6 - Arrastre del modelo físico y calculada según modelo matemático.

## Bibliografía

1. Bas, Carlos; **Estudio de Base para el Desarrollo de las Ciencias del Mar en el Uruguay**, Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe (ORCYT), COI/INF 881, Montevideo, Uruguay, Mayo, 1992.
2. Boletín Comercial Enero Diciembre 1995; **Compendio estadístico pesquero 1975 -1995**, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Instituto Nacional de Pesca, Montevideo, Uruguay, 1996.
3. Pope, John; **Estudios sobre poblaciones de peces: teoría y técnicas**, Proyecto URU/78/005 FAO/PNUD, Montevideo, Uruguay, 1980.
4. Fridman, A. L.; **Theory and design of commercial fishing gear**; Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, Israel, 1973.
5. Kawakami, Tasaé; **Development of mechanical studies of fishing gear**, Modern fishing gear of the world, Fishing News Ltd, 1958.
6. Núñez Basáñez, José F.; **Hidrodinámica de las artes de pesca. Ensayos con modelos**, Revista Ingeniería Naval, N° 656, pp. 60 - 82, España, Febrero, 1990.
7. Kawakami, Tasaé; **The Theory of designing and testing fishing nets in model**, Modern fishing gear of the world, Fishing News Ltd, Junio, 1964.
8. Watanabe; **Theory and Practice of Modelling Trawl Fishing Gears**, 1964.
9. Goldsztejn, Eduardo; Badano, Pablo; **Diseño y Construcción de un Canal de Usos Múltiples**, Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Ingeniería Hidráulica, Tomo III, pp. 1753-1765, Montevideo, Noviembre, Uruguay, 1990.
10. Okonsky, S.L.; Martini, L.W.; **Artes y métodos de pesca**; Proyecto PNUD/FAO CEPM 18, México, 1976.
11. Badano, Pablo; Freiria, Jorge; **Calibración del Canal Hidrométrico de la Facultad de Ingeniería**; Memorias del 2do. Simposio Brasileiro de medición de caudal, San Pablo, Brasil, Marzo, 1995.