

ANÁLISIS DINÁMICO-TEÓRICO DE LA RELACIÓN ENTRE  
LA LONGITUD DEL CABLE DE ARRASTRE Y LA PROFUNDIDAD DE PESCA  
PARA UNA RASTRA DESTINADA A LA CAPTURA DE VIEIRA  
Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN\*

RICARDO R. ROTH<sup>1</sup>, JULIO C. GARCÍA y JAVIER VILLALBA

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Paseo Victoria Ocampo N° 1,  
Escollera Norte, B7602HSA - Mar del Plata, Argentina  
correo electrónico: rroth@inidep.edu.ar

**RESUMEN.** En el presente trabajo se determina, en forma teórica, la longitud del cable de arrastre en función de la profundidad de pesca para la captura de vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica*) con rastra. Se diseñó una planilla de cálculo para establecer la longitud del cable en función de diversos parámetros y desarrollar un software de aplicación para estimar, de forma rápida, la relación longitud/profundidad. El software puede operarse en distintos dispositivos de los sistemas operativos Android o Windows e integrarse al sistema de base de datos "CAPtura" que se utiliza en las campañas de evaluación de vieira patagónica. La planilla de cálculo permitió determinar que, si se opera la rastra a una velocidad de arrastre de 4 nudos y una profundidad de pesca de 100 m, la relación longitud/profundidad deberá ser cercana a cuatro (4) para garantizar que el arte se encuentre en permanente contacto con el fondo marino, especialmente al comienzo de la operación, cuando la ausencia de captura retenida aligera el peso del equipo. Para lograr cálculos más precisos que permitan reducir el coeficiente de seguridad que se emplea para establecer la longitud se debería medir la tensión que se genera en los cables en una situación de trabajo real. Debido a la falta de datos sobre coeficientes de rozamiento con los distintos tipos de fondo marino se adoptaron los establecidos para labranza de suelo, lo que significó una fuente de error en los cálculos. Para poder mejorar las estimaciones obtenidas es necesario llevar a cabo estudios que permitan determinarlos. Los cálculos realizados llevan a concluir que la longitud del cable está directamente relacionada, entre otros factores, con la velocidad de arrastre, la profundidad a la que se desarrolla el trabajo y el peso del arte de pesca.

**Palabras clave:** Cable de arrastre, hidrodinámica, rastra, vieira patagónica.

DYNAMIC-THEORETIC ANALYSIS OF THE RELATION BETWEEN THE LENGTH  
OF THE TRAWL CABLE AND FISHING DEPTH FOR SCALLOP CATCH WITH  
DREDGE AND DEVELOPMENT OF THE APPLICATION SOFTWARE

**SUMMARY.** In this work the length of the trawl cable as a function of fishing depth for Patagonian scallop (*Zygochlamys patagonica*) catch with dredge is determined in a theoretic way. A calculation sheet was designed to establish the cable length as a function of different parameters and develop an application software to estimate, in a quick way, the length/depth relationship. The software can be run in different devices of the Android or Windows operative systems and be integrated to the "CAPtura" database system used in Patagonian scallop assessment cruises. The calculation sheet allowed to determine that, if the dredge is operated at a trawl speed of 4 knots and 100 m fishing depth,

the length/depth ratio should be close to four (4) to guarantee that the gear is in permanent contact with the seabed, especially at the beginning of the operation, when the absence of retained catch reduces the equipment weight. In order to obtain more accurate calculations to allow for a reduction of the security coefficient used to establish length, the tension generated in the cables should be measured in an actual work situation. Due to the lack of data about the coefficients of friction with the different types of seabed, those established for soil tillage were adopted, which meant a source of errors in calculations. In order to improve the estimates obtained, it is necessary to perform studies to determine them. The calculations made lead to conclude that the cable length is directly related, among other factors, to the trawl speed, the depth at which the work is performed and the weight of the fishing gear.

**Key words:** Trawl cable, hydrodynamics, dredge, Patagonian scallop.

---

## INTRODUCCIÓN

---

En la Argentina gran parte de las capturas pesqueras se obtienen mediante la utilización del método denominado arrastre de fondo; es decir, a través de artes de pesca que se mueven en contacto con el fondo marino al ser remolcadas por una o más embarcaciones, por medio de uno o dos cables de arrastre. En el caso de la pesca comercial de vieira patagónica o langostino por ejemplo, el arrastre se produce mediante la utilización de una red por cada banda unida a un solo cable de arrastre.

Durante la operación de pesca se genera un complejo sistema de fuerzas en todo el aparejo de pesca que incluye fuerzas de rozamiento del arte con el fondo marino.

Con el fin de asegurar el contacto constante de una red de arrastre demersal con el fondo marino, se debe utilizar una longitud adecuada de dichos cables de arrastre la cual va a depender, principalmente, de la profundidad de pesca.

En el presente trabajo se realiza un análisis teórico simplificado, con el objeto de obtener la relación entre la profundidad de pesca y la longitud de cable de arrastre mínima necesaria para ser aplicada a la rastra empleada por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) en la evaluación de vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica*).

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

La rastra utilizada en las evaluaciones de vieira patagónica por parte del INIDEP está conformada, en su parte delantera o boca, por un armazón de hierro compuesto por un tubo de 2,5 m de largo y 115 mm de diámetro, unido en sus extremos a dos perfiles metálicos que funcionan a modo de “patines”, los cuales deben mantenerse en contacto permanente con el fondo marino durante la operación de pesca. La unión de la rastra con el cable de arrastre se realiza mediante una tijera conformada por cadenas. En la parte posterior posee una red compuesta por dos paneles de mallas construidas en hilo de poliamida (PA) N° 4 y luz de malla de 50 mm, en cuyo interior se coloca un copo o blindaje de PA N° 27 y luz de malla de 18 mm. A modo de protección para el paño inferior, posee un panel de anillas de acero en la parte exterior. Su peso total es de aproximadamente 580 kg y en la Figura 1 se observa un esquema con sus principales medidas.

Con el fin de simplificar los cálculos se consideró que el cable de arrastre es una barra redonda lisa y rígida, que se mantiene en línea recta entre el barco y el arte de pesca (Figura 2).

Las fuerzas que actúan en el aparejo, debido al movimiento y a su peso, sin ser considerada la acción de corrientes submarinas sobre el sistema, pueden ser representadas por vectores como los mostrados en la Figura 3, los cuales se aplican en los baricentros de los distintos componentes.

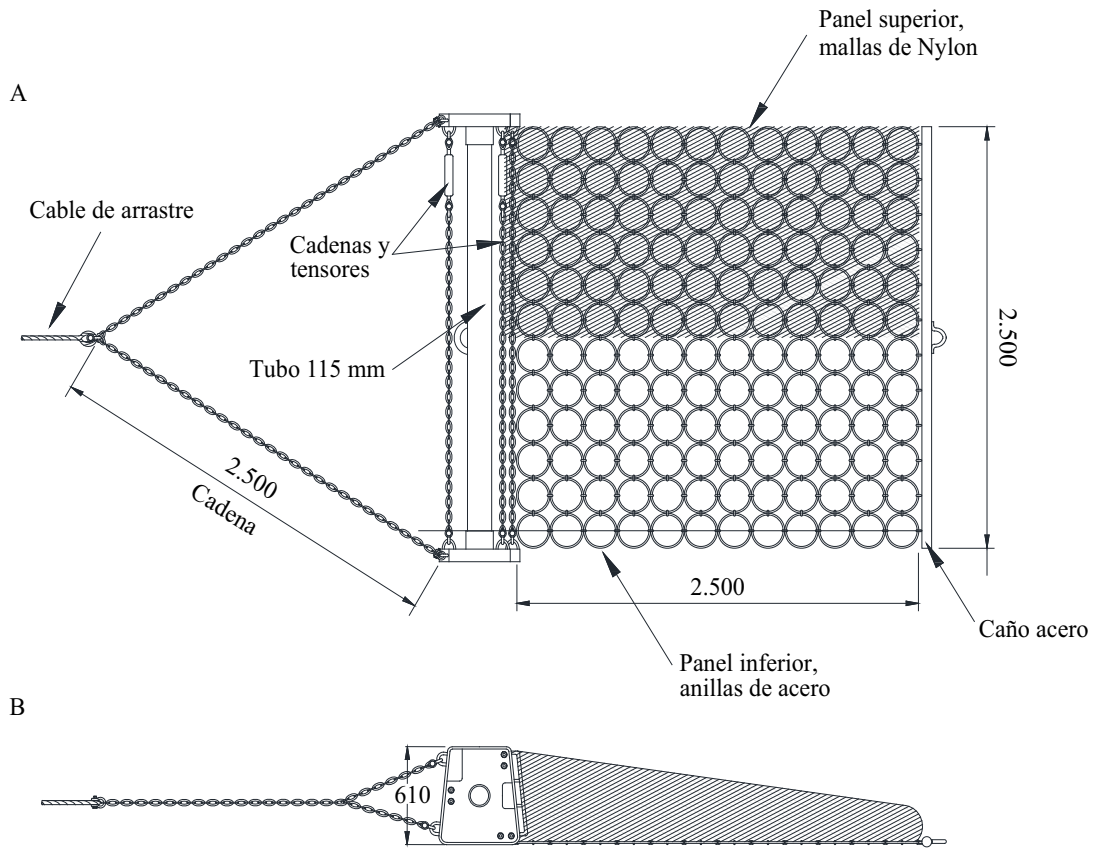


Figura 1. Esquema de la rastra que se utiliza en el INIDEP para evaluar la vieira patagónica; vista superior (A), vista lateral (B).  
 Figure 1. Scheme of the dredge used at INIDEP to assess Patagonian scallop; top view (A), side view (B).

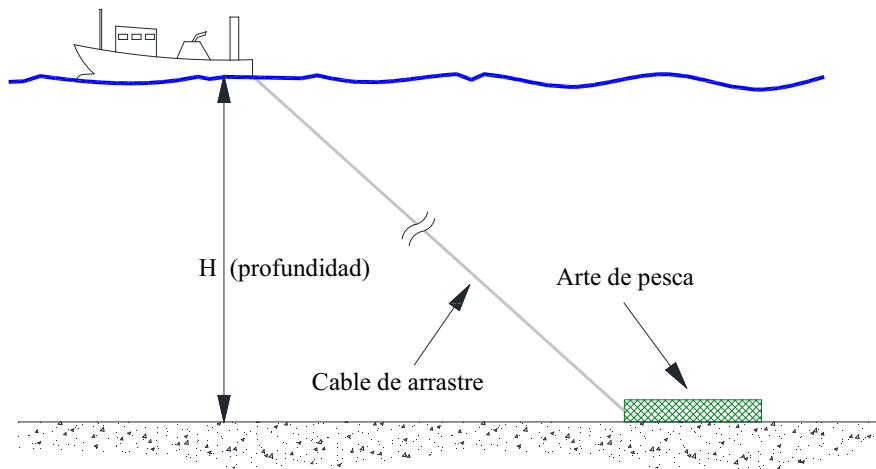


Figura 2. Diagrama de operación de pesca de arrastre de fondo.  
 Figure 2. Diagram of bottom trawl fishing operation.

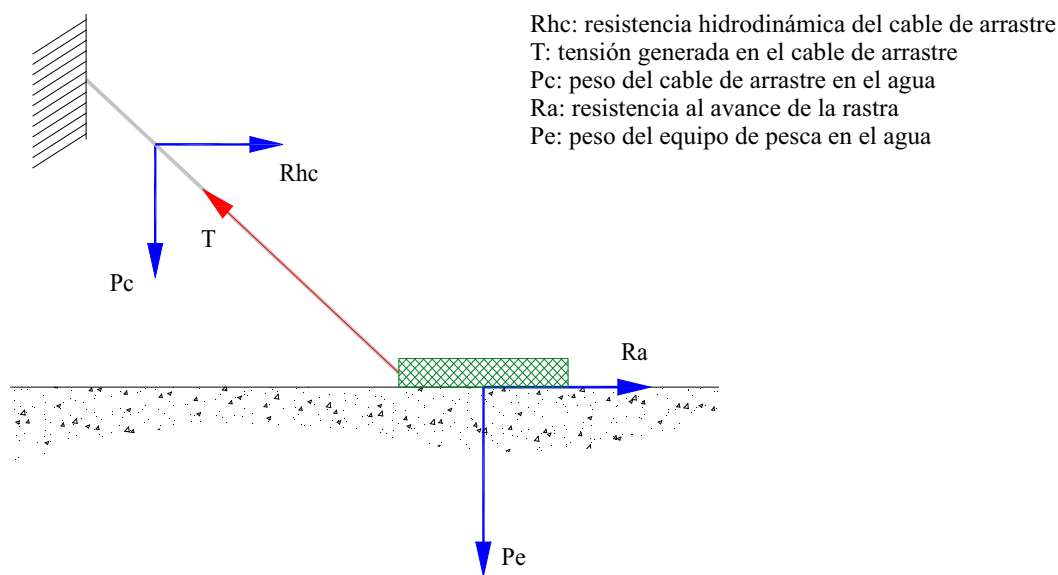


Figura 3. Sistema de fuerzas en equilibrio dinámico.  
 Figure 3. System of forces in dynamic equilibrium.

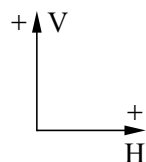
Los vectores que se muestran en la mencionada figura son: el peso del cable de arrastre en el agua ( $P_c$ ), el peso del equipo de pesca en el agua ( $P_e$ ) y las reacciones que se generan, como consecuencia del movimiento del arte de pesca sobre el fondo marino, que son la resistencia hidrodinámica del cable de arrastre ( $R_{hc}$ ), la resistencia al avance de la rastra ( $R_a$ ) y la tensión generada en el cable de arrastre ( $T$ ).

En el equilibrio dinámico (movimiento uniforme), y con el fin de llevar a cabo los cálculos de las tensiones, el barco puede ser considerado como un punto fijo.

La  $R_{hc}$  puede ser descompuesta en sus componentes (Figura 4), tangencial ( $R_{hct}$ ) y normal al cable ( $R_{hcp}$ ), siendo esta última componente la que influye directamente sobre el comportamiento hidrodinámico del cable.

Las tensiones generadas en el cable de arrastre, debido a la inclinación que posee, pueden ser descompuestas en sus componentes horizontal y vertical (Figura 5). Las componentes verticales son las que tienden a levantar el equipo de pesca del fondo.

En el presente trabajo se toma el siguiente sistema de ejes cartesianos:



Para que el sistema se mantenga en equilibrio se debe cumplir que la sumatoria de todas las fuerzas resulte igual a cero, en cada uno de los ejes:

$$\text{Eje vertical: } T_v + R_{hc_{pv}} - P_c - P_e = 0$$

$$\text{Eje horizontal: } R_a + R_{hc_{ph}} - T_h = 0$$

siendo:

$T_v$ : componente vertical de la tensión generada en el cable de arrastre;

$T_h$ : componente horizontal de la tensión generada en el cable de arrastre;

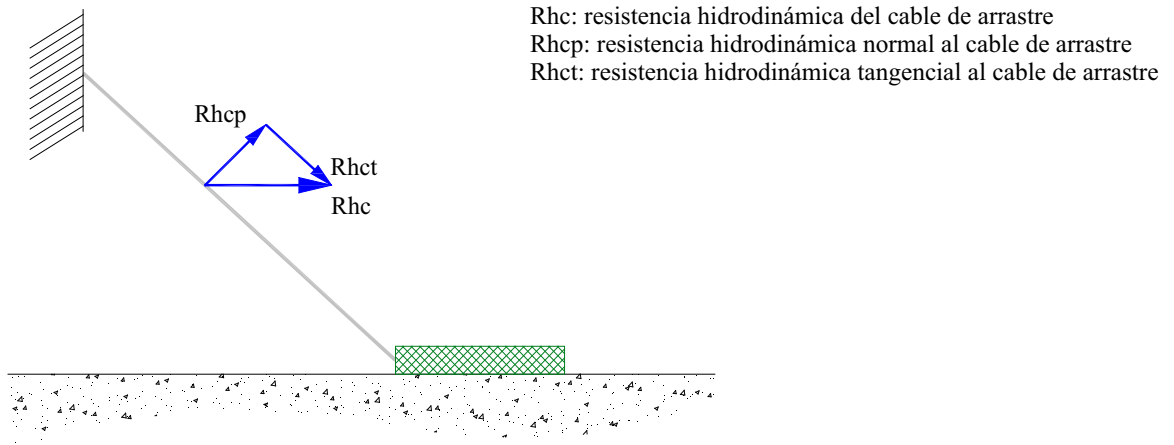


Figura 4. Descomposición de la resistencia hidrodinámica del cable.  
 Figure 4. Decomposition of the hydrodynamic resistance of the cable.

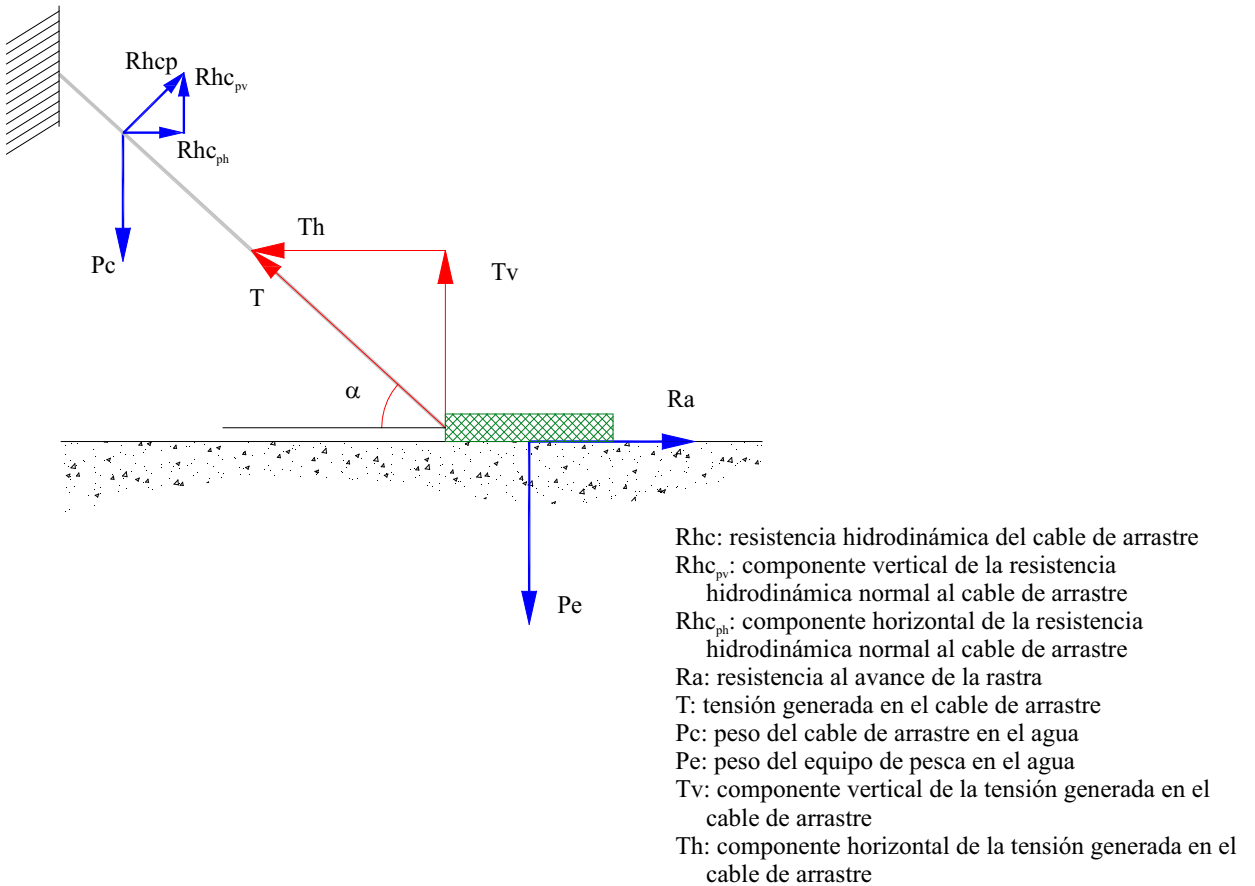


Figura 5. Descomposición de fuerzas en ejes vertical y horizontal.  
 Figure 5. Decomposition of forces in vertical and horizontal axes.

$Rhc_{pv}$ : componente vertical de la resistencia hidrodinámica normal al cable de arrastre;

$Rhc_{ph}$ : componente horizontal de la resistencia hidrodinámica normal al cable de arrastre.

Para determinar la  $Rhc$  se utiliza el modelo de Newton de resistencia al avance de un cuerpo sumergido en un fluido (Martini, 2006).

$$Rhc = 1/2 \times d \times V^2 \times S \times C_D$$

en la cual:

$d$ : densidad del agua de mar ( $kg\ m^{-3}$ );

$V$ : velocidad de arrastre o velocidad relativa entre el agua y el elemento en movimiento ( $m\ s^{-1}$ );

$S$ : superficie proyectada del cable (perpendicular al flujo de agua;  $m^2$ );

$C_D$ : coeficiente de resistencia al avance.

La fuerza  $Ra$  está formada por dos componentes: la resistencia hidrodinámica ( $Rh$ ) del equipo de pesca y la fuerza de rozamiento del equipo contra el fondo ( $Rf$ ). Por lo tanto:

$$Ra = Rh + Rf$$

Las componentes  $Th$  y  $Tv$  dependen de la tensión resultante en el cable de arrastre y del ángulo que éste forma con respecto a la dirección de arrastre. Manteniendo la profundidad ( $H$ ) constante, cuanto mayor sea la cantidad de cable de arrastre utilizado, menor será el ángulo respecto al eje horizontal, lo cual implica que se reducirá la componente vertical ( $Tv$ ) y se incrementará la componente horizontal ( $Th$ ).

Aplicando relaciones trigonométricas se obtiene:

$$Th = T \times \cos \alpha \quad (a)$$

$$Tv = T \times \sen \alpha \quad (b)$$

Despejando  $T$  de la ecuación (a) y remplazando su valor en la ecuación (b) se obtiene que:

$$Tv = Th \times \frac{\sen \alpha}{\cos \alpha} = Th \times Tg \alpha$$

Para garantizar un contacto permanente del arte con el fondo marino se debe cumplir que:

$$Tv + Rhc_{pv} < Pc + Pe$$

En las relaciones anteriores se desprecian los momentos de fuerzas que surgirían debido a la diferencia de ubicación de los centros de gravedad de los distintos componentes que forman el aparejo de pesca.

### Programa de aplicación

Se desarrolló un software de aplicación que puede estimar la longitud del cable de arrastre a utilizar, de acuerdo con la profundidad de pesca, de una manera ágil y rápida. El lenguaje utilizado para su programación fue JAVA, el cual es un lenguaje orientado a objetos (Villalba, 2015).

El desarrollo de la aplicación comienza con la confección del diagrama que se muestra en la Figura 6, el cual se utiliza para poder identificar el proceso a llevar a cabo.

Ingresando las variables involucradas, se puede observar de forma instantánea la cantidad de cable necesario para que la rastra utilizada en la evaluación de vieira no se levante del fondo marino. También permite modificar las variables ingresadas (profundidad, velocidad del buque, tipo de cable, etc.). La aplicación nos entrega una planilla que muestra el comportamiento de la rastra con los diferentes largos de cable ingresados (Figura 7).

Por otra parte, la aplicación desarrollada se realizó de forma que pueda trabajar unido al Sistema de Base de Datos "CAPtura" (Villalba, 2015) utilizado en campañas de evaluación de vieira patagónica. Esto permite tomar, de la base de datos, las características del buque y las artes de pesca que se utilizan, como también las profundidades de referencia que se tiene de campañas anteriores en una posición determinada (Figura 8).

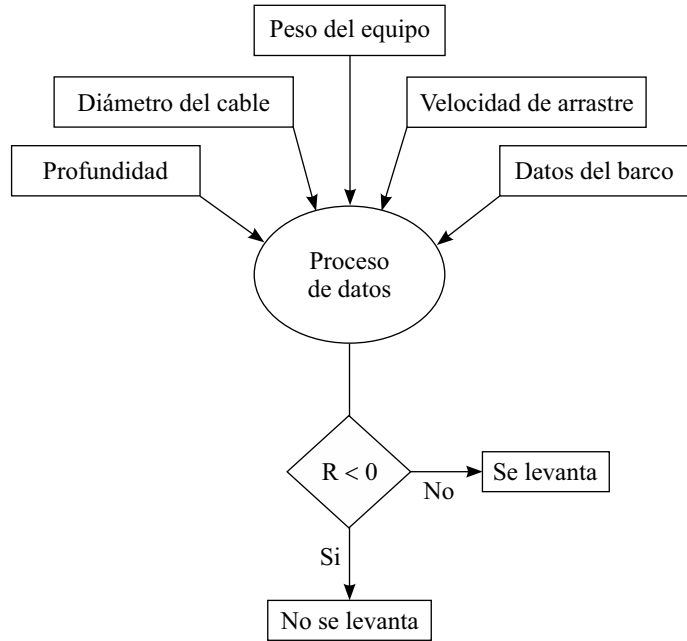


Figura 6. Diagrama utilizado para identificar procesos.  
 Figure 6. Diagram used to identify processes.

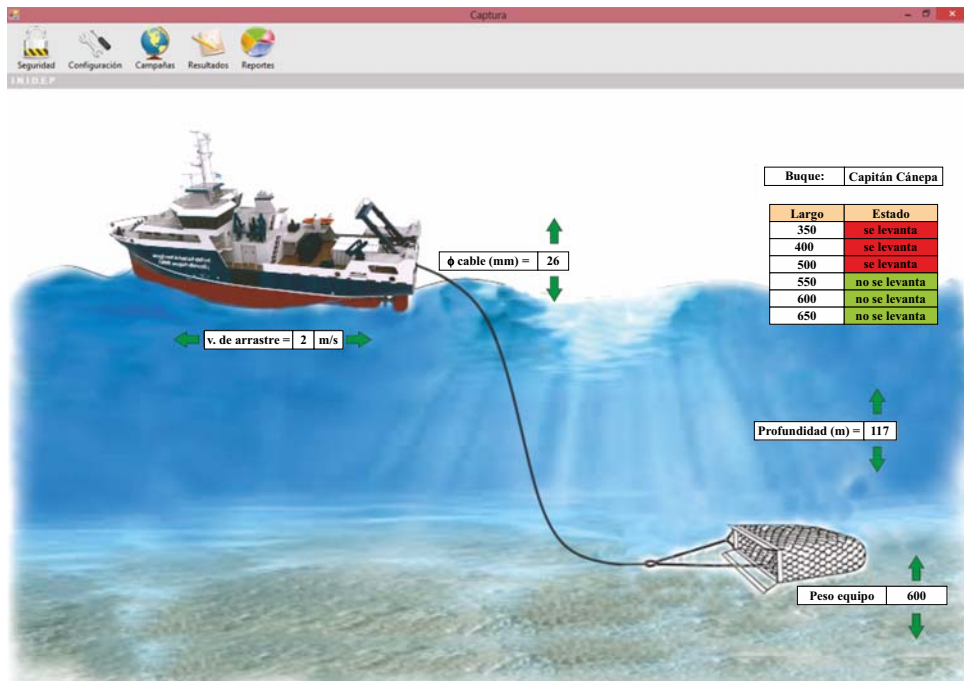


Figura 7. Resultado de la plantilla generada con el software.  
 Figure 7. Result of the template generated with the software.

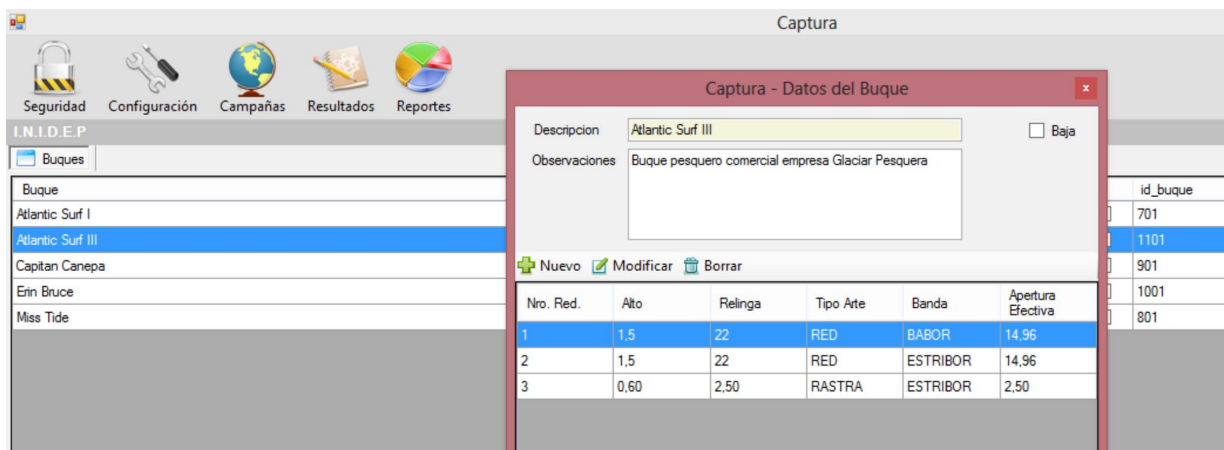


Figura 8. Captura de pantalla del sistema de base de datos “CAPtura”.

Figure 8. Screenshot of the “CAPtura” database system.

## RESULTADOS

A continuación se presenta un ejemplo de verificación de contacto de la rastra con el fondo, al trabajar con una longitud de cable determinada y dos condiciones de carga extremas, completamente vacía (condición inicial) y completamente llena.

Supuestos:

- La profundidad de trabajo (H) se establece en 100 m (profundidad promedio de trabajo en la pesquería).
- Para el cálculo de la resistencia hidrodinámica ( $R_h$ ), se considera el arte de pesca como un paralelepípedo recto de 2,5 m de ancho, 2,5 m de largo y 0,6 m de alto, considerando a esta figura geométrica como la forma más aproximada que adquiere la rastra.
- La velocidad de arrastre es de 4,0 nudos ( $\approx 2 \text{ m s}^{-1}$ ).
- La longitud de cable utilizada ( $L_c$ ) es de 350 m, el cual es considerado como una barra redonda lisa y recta.
- Cable de arrastre  $6 \times 19 + 1$  alma textil de 26 mm de diámetro ( $2,519 \text{ kg m}^{-1}$ ).

### Rastra completamente vacía

Para el cálculo de la resistencia hidrodinámica ( $R_h$ ) se utiliza, como se mencionó anteriormente, el modelo de Newton de resistencia al avance de un cuerpo en un fluido:

$$R_{hc} = 1/2 \times \delta \times V^2 \times S \times C_D$$

en la cual:

- d: densidad del agua de mar ( $\text{kg m}^{-3}$ );
- V: velocidad de arrastre ( $\text{m s}^{-1}$ );
- S: superficie proyectada de la boca de la rastra (perpendicular al flujo de agua;  $\text{m}^2$ );
- $C_D$ : coeficiente de resistencia al avance.

En el caso de estudio:

$$\delta = 1.025 \text{ kg m}^{-3}$$

$$S = 0,6 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m}^2$$

$$C_D = 2,05 \text{ (Engineering ToolBox, 2016)}$$

$$\begin{aligned} \therefore R_h &= \\ &= 1/2 \times 1.025 \text{ kg/m}^3 \times (2 \text{ m/s})^2 \times 1,5 \text{ m}^2 \times 2,05 = \\ &= 6.303,75 \text{ kg.m/s}^2 = 6.303,75 \text{ N} = 643,24 \text{ kg} \end{aligned}$$



La fuerza de rozamiento ( $R_f$ ) en este caso, solo deberá depender del peso del arte de pesca, sin tener en cuenta el peso del cable de arrastre, dado que se supone que el mismo en ningún momento toca el fondo, y por lo tanto, su peso no influye sobre el aparejo de pesca. Si lo hiciera, las cadenas que conectan el cable de arrastre con la rastra perturbarían el fondo marino delante de la misma. Por lo tanto  $R_f$  será:

$$R_f = \mu_D \times P_e$$

$P_e$ : peso del equipo en el agua ( $\text{kg} \vec{g}$ );

$\mu_D$ : coeficiente de rozamiento dinámico. En este caso se toma un promedio de coeficientes de rozamiento de acero con arena y limo, el cual resultó de 0,57 (Jara y Fort-López, 2009).

Dado que el equipo (rastra) está construido mayoritariamente en acero, para calcular su peso en el agua, su peso en el aire se considera afectado por un factor de flotación ( $f$ ) correspondiente al acero. Para el acero:

$$f = 0,87 \Rightarrow \text{Peso rastra en agua} = 580 \text{ kg} \vec{g} \times 0,87 \cong 500 \text{ kg} \vec{g}$$

$$\therefore R_f = 0,57 \times 500 \text{ kg} \vec{g} = 285,00 \text{ kg} \vec{g}$$

$$\therefore R_a = R_h + R_f = 643,24 \text{ kg} \vec{g} + 285,00 \text{ kg} \vec{g} = 928,24 \text{ kg} \vec{g}$$

Para el cálculo de la tensión generada en el cable de arrastre, necesaria para calcular la componente vertical, se utiliza la ecuación (a):

$$T_h = T \times \cos \alpha$$

en equilibrio dinámico  $T_h = R_a$ . Por otra parte:

$$\sin \alpha = H/L_c$$

$H$ : profundidad de trabajo;

$L_c$ : largo de cable de arrastre.

$$\therefore \sin \alpha = 100 \text{ m}/350 \text{ m} \Rightarrow \alpha = 16^\circ 36' 6''$$

$$\therefore T = R_a \div \cos (16^\circ 36' 6'')$$

$$T = 928,24 \text{ kg} \vec{g} \div \cos (16^\circ 36' 6'') = 968,62 \text{ kg} \vec{g}$$

$$\therefore T_v = T \times \sin \alpha = 968,62 \text{ kg} \vec{g} \times \sin (16^\circ 36' 6'') = 276,75 \text{ kg} \vec{g}$$

La resistencia hidrodinámica del cable será:

$$R_{hc} = 1/2 \times d \times V^2 \times S \times C_D$$

$$d = 1.025 \text{ kg m}^{-3}$$

$$S = L_c \times \phi \times \sin \alpha = 350 \text{ m} \times 0,026 \text{ m} \times \sin 16^\circ 36' 6'' = 2,6 \text{ m}^2$$

$$C_D = 1,15 \text{ (Engineering ToolBox, 2016)}$$

$$R_{hc} = 1/2 \times d \times V^2 \times S \times C_D = 1/2 \times 1.025 \text{ kg/m}^3 \times (2 \text{ m/s})^2 \times 2,6 \text{ m}^2 \times 1,15 = 6.129,5 \text{ N}$$

$$\therefore R_{hc} = 625,46 \text{ kg} \vec{g}$$

La componente vertical ( $R_{hc_{pv}}$ ) de la resistencia hidrodinámica normal al cable de arrastre (Figura 4), será:

$$R_{hc_{pv}} = R_{hc} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 625,46 \text{ kg} \vec{g} \times \sin (16^\circ 36' 6'') \times \cos (16^\circ 36' 6'') = 171,25 \text{ kg} \vec{g}$$

La componente tangencial de la resistencia hidrodinámica normal al cable de arrastre ( $R_{hc_t}$ ), no interviene en los cálculos destinados a determinar la longitud de cable necesaria, en función de la profundidad, dado que esta componente solo afecta a la resistencia total del equipo a nivel de los guinches de pesca y no al nivel del equipo de pesca, donde dicha resistencia es nula, ya que es dependiente de la longitud del cable, medido desde su unión con el equipo de pesca hasta la superficie del mar.

Con el fin de verificar si el equipo mantiene su contacto con el fondo del mar durante la operación de pesca, se debe realizar la comparación de las fuerzas  $T_v + R_{hc_{pv}}$  y  $F_v$ , siendo  $F_v$  la sumatoria de los pesos del equipo ( $P_e$ ) y del cable de arrastre ( $P_c$ ). Para que el contacto con el fondo sea constante  $T_v + R_{hc_{pv}}$  debe ser menor que  $F_v$ .

El peso total del cable de arrastre en el aire será:

$$P_{c_a} = 350 \text{ m} \times 2,519 \text{ kg}^{\vec{}}/\text{m} = 881,65 \text{ kg}^{\vec{}}$$

Su peso en el agua está afectado por el factor de flotación ( $f = 0,87$ ), por lo cual:

$$P_c = 881,65 \text{ kg}^{\vec{}} \times f \Rightarrow P_c = 881,65 \text{ kg}^{\vec{}} \times 0,87 = 767,04 \text{ kg}^{\vec{}}$$

$$\therefore F_v = P_c + P_e = 767,04 \text{ kg}^{\vec{}} + 500 \text{ kg}^{\vec{}} = 1.267,04 \text{ kg}^{\vec{}}$$

Para compensar el movimiento vertical del barco durante el arrastre, debido a diversas condiciones hidrometeorológicas, las fuerzas hidrodinámicas que se producen sobre el cable de arrastre en movimiento en el agua y otros factores no tenidos en cuenta en los planteos anteriores, se debe aplicar lo que se denomina, un factor de seguridad ( $f_s$ ) al valor de la componente vertical de la tensión generada en el cable de arrastre ( $T_v$ ). Para estos casos se considera adecuado que su valor sea de 4.

Aplicando el factor de seguridad mencionado se obtiene:

$$T_v = 276,75 \text{ kg}^{\vec{}} \times 4 = 1.107,00 \text{ kg}^{\vec{}}$$

La fuerza resultante ( $R$ ) será:

$$R = T_v + R_{hc_{pv}} - F_v = 1.107,00 \text{ kg}^{\vec{}} + 171,25 \text{ kg}^{\vec{}} - 1.267,04 \text{ kg}^{\vec{}} = 11,21 \text{ kg}^{\vec{}}$$

Dado que  $R$  tiene signo positivo, el equipo de pesca no se mantendrá en contacto con el fondo marino. Por tal motivo, el largo de cable a utilizar, en las condiciones de trabajo establecidas, debe ser mayor.

Los cálculos anteriores pueden ser incluidos en una planilla de cálculo con el fin de facilitar su resolución y obtener los resultados más rápidamente. En la Tabla 1 se presenta un ejemplo de dicha planilla. En la última columna de la mencionada tabla se indica si la rastra mantiene contacto con el fondo marino o no.

### Rastra completamente llena

En este caso la fuerza de rozamiento ( $R_f$ ), sin tener en cuenta el peso del cable de arrastre, es:

$$R_f = \mu_D \times (P_e + C)$$

$P_e$ : peso del equipo en el agua (kg);

$C$ : captura (kg);

$\mu_D$ : coeficiente de rozamiento dinámico.

El volumen supuesto de la rastra completamente llena será:

$$V = 0,6 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 3,75 \text{ m}^3$$

La densidad de la vieira fue establecida en  $1.416,4 \text{ kg m}^{-3}$  (Campodónico com. pers.)<sup>1</sup>.

La captura en el volumen establecido resultará:

$$C = \delta \times V = 1.416,4 \text{ kg}^{\vec{}}/\text{m}^3 \times 3,75 \text{ m}^3 = 5.311,6 \text{ kg}^{\vec{}}$$

El peso aparente de la vieira en el agua se estableció en  $0,215 \text{ kg kg}^{-1}$  en aire (García y Ercoli, 1996):

$$\therefore C_a = 5.311,6 \text{ kg}^{\vec{}} \times 0,215 \text{ kg}^{\vec{}}/\text{kg}^{\vec{}} = 1.142,00 \text{ kg}^{\vec{}}$$

<sup>1</sup>Silvana Campodónico, Programa "Pesquerías Moluscos Bentónicos", INIDEP, P. V. Ocampo N° 1, B7602HSA - Mar del Plata, Argentina.

Tabla 1. Planilla de cálculo en la que se ingresan los distintos parámetros utilizados.  
 Table 1. Calculation sheet in which the different parameters used are entered.

| Largo del cable (m) | sen ( $\alpha$ ) | Ángulo ( $\alpha$ ) (rad) | Peso del cable (kg) | Th (kg) | T (kg)   | Tv (kg)  | Rhc (kg) | Rhcp (kg) | Resultante Tv + Rhc <sub>pv</sub> – (Pe + Pc + Ca) | Significado   |
|---------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------|----------|----------|----------|-----------|--|---------------|
| 200                 | 0,50             | 0,52                      | 438,31              | 928,23  | 1.071,83 | 2.143,65 | 625,45   | 270,83    | 1.476,17   | Se levanta    |
| 250                 | 0,40             | 0,41                      | 547,88              | 928,23  | 1.012,78 | 1.620,45 | 625,45   | 229,29    | 801,86   | Se levanta    |
| 300                 | 0,33             | 0,34                      | 657,46              | 928,23  | 984,54   | 1.312,71 | 625,45   | 196,56    | 351,81   | Se levanta    |
| 350                 | 0,29             | 0,29                      | 767,04              | 928,23  | 968,60   | 1.106,98 | 625,45   | 171,25    | 11,19  | Se levanta    |
| 400                 | 0,25             | 0,25                      | 876,61              | 928,23  | 958,67   | 958,67   | 625,45   | 151,40    | -266,54  | No se levanta |
| 500                 | 0,20             | 0,20                      | 1.095,77            | 928,23  | 947,37   | 757,90   | 625,45   | 122,56    | -715,31  | No se levanta |
| 550                 | 0,18             | 0,18                      | 1.205,34            | 928,23  | 943,96   | 686,52   | 625,45   | 111,82    | -907,00  | No se levanta |
| 600                 | 0,17             | 0,17                      | 1.314,92            | 928,23  | 941,40   | 627,60   | 625,45   | 102,78    | -1.084,54  | No se levanta |
| 650                 | 0,15             | 0,15                      | 1.424,49            | 928,23  | 939,41   | 578,10   | 625,45   | 95,08     | -1.251,32  | No se levanta |
| 700                 | 0,14             | 0,14                      | 1.534,07            | 928,23  | 937,85   | 535,91   | 625,45   | 88,43     | -1.409,72  | No se levanta |
| 750                 | 0,13             | 0,13                      | 1.643,65            | 928,23  | 936,59   | 499,52   | 625,45   | 82,65     | -1.561,48  | No se levanta |

Profundidad (m) = 100; peso equipo (kg) = 400; Cd cable = 1,15;  $\phi$  cable (mm) = 26; v (m s<sup>-1</sup>) = 2; Cd equipo = 2,05; Pc (kg m<sup>-1</sup>) = 2,519; carga (kg) = 0; S equipo (m<sup>2</sup>) = 1,5; d (kg.s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>) = 104,59.

$$\therefore R_f = 0,57 \times (500 \text{ kg} \vec{g} + 1.142,00 \text{ kg} \vec{g}) = 935,94 \text{ kg} \vec{g}$$

La resistencia hidrodinámica (Rh) será igual a la obtenida en el caso de la rasta completamente vacía, dado que solo depende de la forma del cuerpo y de su proyección respecto del flujo hidrodinámico.

$$\therefore R_a = R_h + R_f = 643,24 \text{ kg} \vec{g} + 935,94 \text{ kg} \vec{g} = 1.579,18 \text{ kg} \vec{g}$$

La tensión generada en el cable de arrastre será:

$$T = R_a \div \cos(16^\circ 36' 6'')$$

$$\therefore T = 1.579,18 \text{ kg} \vec{g} \div \cos(16^\circ 36' 6'') = 1.647,87 \text{ kg} \vec{g}$$

$$\therefore T_v = T \times \sin \alpha = 1.647,87 \text{ kg} \vec{g} \times \sin(16^\circ 36' 6'') = 740,82 \text{ kg} \vec{g}$$

La resistencia hidrodinámica del cable será, al igual que antes:

$$R_{hc} = 1/2 \times d \times V^2 \times S \times C_D$$

$$d = 1.025 \text{ kg m}^{-3}$$

$$S = L_c \times \phi \times \sin \alpha = 350 \text{ m} \times 0,026 \text{ m} \times \sin 16^\circ 36' 6'' = 2,6 \text{ m}^2$$

$$C_D = 1,15$$

$$R_{hc} = 1/2 \times 1.025 \text{ kg/m}^3 \times (2 \text{ m/s})^2 \times 2,6 \text{ m}^2 \times 1,15 = 6.129,5 \text{ N} = 625,46 \text{ kg} \vec{g}$$

La componente vertical (Rhc<sub>pv</sub>) de la resistencia hidrodinámica normal al cable de arrastre será:

$$R_{hc_{pv}} = R_{hc} \times \sin \alpha \times \cos \alpha = 625,46 \text{ kg} \vec{g} \times \sin(16^\circ 36' 6'') \times \cos(16^\circ 36' 6'') = 171,25 \text{ kg} \vec{g}$$

Con el fin de verificar si el equipo mantiene su contacto con el fondo del mar durante la operación de pesca, nuevamente debe realizarse la comparación de las fuerzas  $T_v + R_{hc_{pv}}$  y  $F_v$ , siendo  $F_v$  la sumatoria de los pesos del equipo ( $P_e$ ), del peso aparente de la captura ( $C_a$ ) y del cable de arrastre ( $P_c$ ). Para que el contacto con el fondo sea constante  $T_v + R_{hc_{pv}}$  debe ser menor que  $F_v$ .

El peso total del cable de arrastre será:

$$P_{c_a} = 350 \text{ m} \times 2,519 \text{ kg}^{\vec{g}}/\text{m} = 881,65 \text{ kg}^{\vec{g}}$$

Su peso en el agua está afectado por un factor de flotación ( $f$ ), por lo cual:

$$P_c = 881,65 \text{ kg}^{\vec{g}} \times f$$

Para el caso del acero:

$$f = 0,87 \Rightarrow P_c = 881,65 \text{ kg}^{\vec{g}} \times 0,87 = 767,04 \text{ kg}^{\vec{g}}$$

$$\begin{aligned} \therefore F_v &= P_c + P_e + C_a = \\ &= 767,04 \text{ kg}^{\vec{g}} + 500 \text{ kg}^{\vec{g}} + 1.142,00 \text{ kg}^{\vec{g}} = \\ &= 2.409,04 \text{ kg}^{\vec{g}} \end{aligned}$$

Aplicando el factor de seguridad mencionado anteriormente se obtiene:

$$T_v = 470,82 \text{ kg}^{\vec{g}} \times 4 = 1.883,28 \text{ kg}^{\vec{g}}$$

La fuerza resultante ( $R$ ) será:

$$\begin{aligned} R &= T_v + R_{hc_{pv}} - F_v = \\ &= 1.883,28 \text{ kg}^{\vec{g}} + 171,25 \text{ kg}^{\vec{g}} - 2.409,04 \text{ kg}^{\vec{g}} = \\ &= -354,51 \text{ kg}^{\vec{g}} \end{aligned}$$

Como la resultante es negativa, significa que el arte de pesca permanece en contacto con el fondo marino durante el arrastre.

Los resultados de los cálculos para este caso, manteniendo las condiciones de trabajo, variando solamente la condición de carga (captura) del arte de pesca, se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Planilla de cálculo en la que se simula una captura de 1.200 kg.  
Table 2. Calculation sheet in which a 1.200 kg catch is simulated.

| Largo del cable (m) | sen ( $\alpha$ ) | Ángulo ( $\alpha$ ) (rad) | Peso del cable (kg) | Th (kg)  | T (kg)   | $T_v$ (kg) | Rhc (kg) | Rhcp (kg) | Resultante $T_v + R_{hc_{pv}} - (P_e + P_c + C_a)$ | Significado   |
|---------------------|------------------|---------------------------|---------------------|----------|----------|------------|----------|-----------|--|---------------|
| 200                 | 0,50             | 0,52                      | 438,31              | 1.612,23 | 1.861,64 | 3.723,28   | 625,45   | 270,83    | 1.855,80   | Se levanta    |
| 250                 | 0,40             | 0,41                      | 547,88              | 1.612,23 | 1.759,09 | 2.814,54   | 625,45   | 229,29    | 795,95   | Se levanta    |
| 300                 | 0,33             | 0,34                      | 657,46              | 1.612,23 | 1.710,03 | 2.280,04   | 625,45   | 196,56    | 119,14   | Se levanta    |
| 350                 | 0,29             | 0,29                      | 767,04              | 1.612,23 | 1.682,36 | 1.922,69   | 625,45   | 171,25    | -373,09  | No se levanta |
| 400                 | 0,25             | 0,25                      | 876,61              | 1.612,23 | 1.665,10 | 1.665,10   | 625,45   | 151,40    | -760,11  | No se levanta |
| 450                 | 0,22             | 0,22                      | 986,19              | 1.612,23 | 1.645,47 | 1.316,38   | 625,45   | 122,56    | -1.356,82  | No se levanta |
| 500                 | 0,20             | 0,20                      | 1.095,77            | 1.612,23 | 1.639,56 | 1.192,40   | 625,45   | 111,82    | -1.601,11  | No se levanta |
| 550                 | 0,18             | 0,18                      | 1.205,34            | 1.612,23 | 1.635,10 | 1.090,07   | 625,45   | 102,78    | -1.822,07  | No se levanta |
| 600                 | 0,17             | 0,17                      | 1.314,92            | 1.612,23 | 1.631,65 | 1.004,09   | 625,45   | 95,08     | -2.025,32  | No se levanta |
| 650                 | 0,15             | 0,15                      | 1.424,49            | 1.612,23 | 1.628,94 | 930,82     | 625,45   | 88,43     | -2.214,82  | No se levanta |
| 700                 | 0,14             | 0,14                      | 1.534,07            | 1.612,23 | 1.626,75 | 867,60     | 625,45   | 82,65     | -2.393,40  | No se levanta |

Profundidad (m) = 100; peso equipo (kg) = 400; Cd cable = 1,15;  $\phi$  cable (mm) = 26;  $v$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) = 2; Cd equipo = 2,05;  $P_c$  ( $\text{kg m}^{-1}$ ) = 2,519; carga (kg) = 1.200; S equipo ( $\text{m}^2$ ) = 1,5;  $d$  ( $\text{kg.s}^2/\text{m}^4$ ) = 104,59.

---

## CONCLUSIONES

---

El programa desarrollado para el cálculo del largo del cable de arrastre en función de la profundidad de trabajo, en la evaluación de vieira patagónica con rastra, posee la particularidad de poder ser ejecutado en cualquier dispositivo, tales como: computadoras personales, computadoras portátiles, *tablets*, *smartphones*, etc. y ser utilizado bajo los sistemas operativos Windows y Android. Es intuitivo, sencillo y no necesita grandes recursos de hardware, transformándose en una aplicación amigable, para todo tipo de usuario, sin conocimientos previos. Además, puede integrarse al Sistema de Base de Datos “CAPtura” utilizado en campañas de evaluación del mencionado recurso pesquero.

El largo del cable a utilizar está directamente relacionado a la velocidad de arrastre, profundidad de trabajo, peso del aparejo de pesca, condiciones hidrometeorológicas, tipo de fondo, etc.

Utilizando la planilla de cálculo mencionada se determinó que a una velocidad de arrastre de 4 nudos y a una profundidad de pesca de 100 m, se debe utilizar una relación cable/profundidad de trabajo cercana a cuatro (4) con el fin de garantizar el contacto constante del arte con el fondo marino, especialmente al comienzo de la operación de pesca, momento en el cual el peso del equipo es menor, debido a la falta de captura retenida en su interior.

Para poder realizar cálculos con mayor precisión y así poder reducir el coeficiente de seguridad empleado para establecer el largo del cable a utilizar durante las tareas de pesca, se debería efectuar la medición de la tensión generada en los cables de arrastre en una situación real de trabajo.

La falta de determinaciones de coeficientes de rozamiento de los distintos tipos de fondo marino hizo necesario utilizar coeficientes determinados para labranza en tierra, siendo ésta una fuente de error en los cálculos que se suma a los debidos a considerar que el cable trabaja como una barra recta, rígida y lisa. Con el fin de mejorar las estimaciones efectuadas, sería preciso desarrollar estudios que permitan determinar coeficientes de rozamiento de distintos tipos de fondo marino.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

- GARCÍA, J. & ERCOLI, R. 1996. Análisis dinámico-teórico aproximado del funcionamiento de una red de arrastre para vieira y estimación de su abertura horizontal para distintos niveles de carga. Inf. Téc. INIDEP N° 102/1996, 6 pp.
- JARA, G. & FORT-LÓPEZ, L. 2009. Evaluación de la Fricción Superficial entre Suelos y Materiales Compuestos. Revista de la Construcción, 8 (1): 103-113.
- MARTINI, L. 2006. Artes y métodos de pesca Nivel III. Editorial Martín, Mar del Plata, 218 pp.
- THE ENGINEERING TOOLBOX. 2016. Drag coefficient. <[http://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d\\_627.html](http://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html)>. [Consulta: 14 marzo 2016].
- VILLALBA, J. 2015. Sistema de Gestión de Base de Datos “CAPtura”. Inf. Ases. Transf. INIDEP N° 99/2015, 19 pp.

*Recibido: 16-08-2016*

*Aceptado: 15-12-2017*

