

## CONFIGURACION DEL CABO DE FONDEO DE UN LONG-LINE DE CULTIVO A TRAVES DE SIMULACION ANALOGA<sup>1</sup>

Guillermo Martínez González y Luis Carroza Larrondo<sup>2</sup>

*Escuela de Ciencias del Mar  
Facultad de Recursos Naturales  
Universidad Católica de Valparaíso  
Casilla 1020 - Valparaíso - Chile*

### RESUMEN

Mediante un modelo a escala de la unión entre la línea madre, primer cabo de flotadores y cabo de fondeo de un long-line de cultivo, se utilizó la técnica de simulación análoga para determinar la configuración de este último cabo, que minimice la tensión resultante sobre el sistema de anclaje. Las variables experimentales fueron  $T_1$  y RA, tensión en línea madre y relación de aspecto del cabo de fondeo, respectivamente. Las variables de estado analizadas fueron la tensión resultante en el anclaje ( $T_2$ ) y el ángulo formado con el cabo de fondeo ( $\theta_2$ ). Para la construcción del modelo se utilizó una escala lineal de 50 y una escala de fuerza igual a 400.

La mínima tensión  $T_2$  se logró al emplear relaciones de aspecto de 1: 3,5 y 1: 5,5 con ángulos de fondeo iguales a  $72^\circ$  y  $83,5^\circ$  respectivamente. En tanto que la variación de este ángulo fluctuó entre  $68^\circ$  y  $71^\circ$ , para la relación 1: 3 y entre  $84,5^\circ$  y  $85^\circ$  para la relación 1: 6,5. Para lograr una mejor transmisión de tensión hacia el sistema de anclaje y un buen rendimiento del mismo, se recomienda utilizar una relación de aspecto de 1: 5,5.

### ABSTRACT

#### CULTURE LONGLINE MOORING ROPE CONFIGURATION BY ANALOGUE SIMULATION

Through a scale model of the joint between main line, the first float line and the mooring line of scallop culture long-line, an analog simulation was used, to establish the mooring rope configuration which minimizes the resulting tension on the mooring system. The experimental variables used were the tension on main line ( $T_1$ ), and the aspect relation of the mooring cable (RA). The state variables analyzed were: the resulting tension on the mooring line ( $T_2$ ) and the mooring angle ( $\theta_2$ ). For the model construction, a lineal scale of 50 and a strength scale of 400, was used.

The minimum strength  $T_2$  was obtained using aspect relations of 1: 3,5 and 1: 5,5 with mooring angles of  $72^\circ$  and  $83,5^\circ$  respectively. The fluctuations of  $\theta_2$  were between  $68^\circ$  and  $71^\circ$  for RA 1: 3 and between  $84,5^\circ$  and  $85^\circ$  for RA 1: 6,5. In order to obtain the best tension transmission towards the mooring system as well as the best performance, the use of an aspect relation of 1: 5,5, is recommended.

### INTRODUCCION

De la amplia gama de estructuras que se emplean en los cultivos marinos, se destaca el sistema suspendido de origen japonés, denominado long-line, ampliamente utilizado

<sup>1</sup> Trabajo presentado en el IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Coquimbo, Chile, 1991.

<sup>2</sup> Dirección actual: Servicio Nacional de Pesca. Yungay 1731, Valparaíso.

tanto en el cultivo de ostión del norte (*Chlamys purpurata*) como de la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) (Fig. 1).

No obstante, a pesar de su frecuente utilización en Chile, este sistema suspendido presenta una serie de interrogantes tanto en su diseño como dimensionamiento, que requirieren ser estudiadas en forma previa a la búsqueda de respuestas de tipo tecnológicas.

Al respecto, dentro del conjunto de estructuras que comprende un long-line, tiene especial valor la búsqueda de la correcta proporción entre la profundidad y la longitud del cabo de fondeo. El mejoramiento de esta relación es una opción válida para minimizar la tensión que se transmite desde la línea madre hacia el sistema de anclaje, ya que con una relación pequeña, la tensión sobre el fondeo se hace más directa que al emplear una más holgada. Sin embargo, esta última opción no debe ser tan excesiva, pues comprometerá una mayor área para la línea de cultivo, un mayor consumo de material y el consecuente mayor costo de construcción.

En base a lo anteriormente expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo la determinación de una eficiente relación de aspecto, entre la profundidad de la línea madre respecto al fondo y la longitud del cabo de fondeo, que permita tanto una minimización de la tensión hacia el sistema de fondeo como un buen rendimiento de los elementos que lo integran.

## MATERIALES Y METODOS

### *Panel de pruebas, modelo y accesorios para la simulación mecánica*

Con el objeto de realizar la simulación análoga de un long-line de cultivo, se utilizó un panel de prueba vertical de 3 metros de largo por 2,5 metros de alto, con una superficie útil total de 6,8 m<sup>2</sup>. Este panel permite aprovechar la fuerza de gravedad, para el análisis estático del modelo a distintas relaciones de excursión y tensión inicial en la línea madre.

En este caso, en la configuración del modelo del long-line se utilizó una modificación de las técnicas propuestas por HATAKEYAMA Y NAGASAKI (1985) y FRIDMAN (1986) (Fig. 2). Para su construcción, se empleó un cabo de poliamida de torsión media, cuyo diámetro fue determinado en base a un proceso de escalamiento explicado en la sección correspondiente.

Dicho modelo a escala se sostiene en el panel mediante un juego de poleas, que permiten configurar la unión entre la línea madre, primer cabo de flotadores y cabo de fondeo. Además, estas poleas facilitan la interacción entre las componentes de fuerza que se originan al variar la tensión inicial que actúa sobre la línea madre.

Las distintas cargas hidrodinámicas que afectan al sistema real (prototipo), fueron simuladas por cargas gravitacionales mediante el uso de arena de duna contenida en recipientes adecuados a las características del panel de pruebas. Las resultantes de estas cargas gravitacionales sobre el modelo, fueron evaluadas con un dinamómetro manual dispuesto en el extremo inferior del cabo de fondeo.

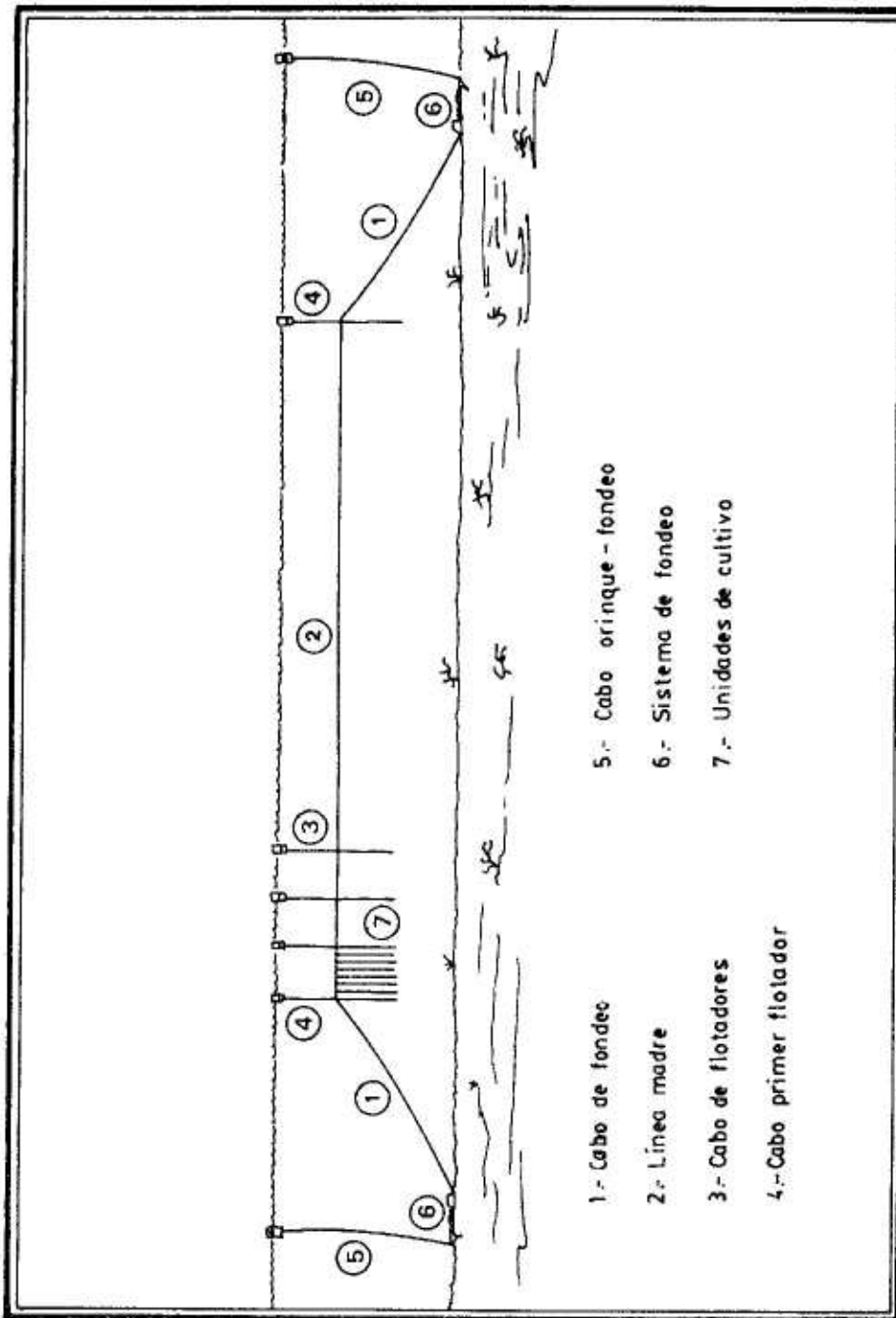


Figura 1: Principales componentes de un sistema de cultivo Long-line

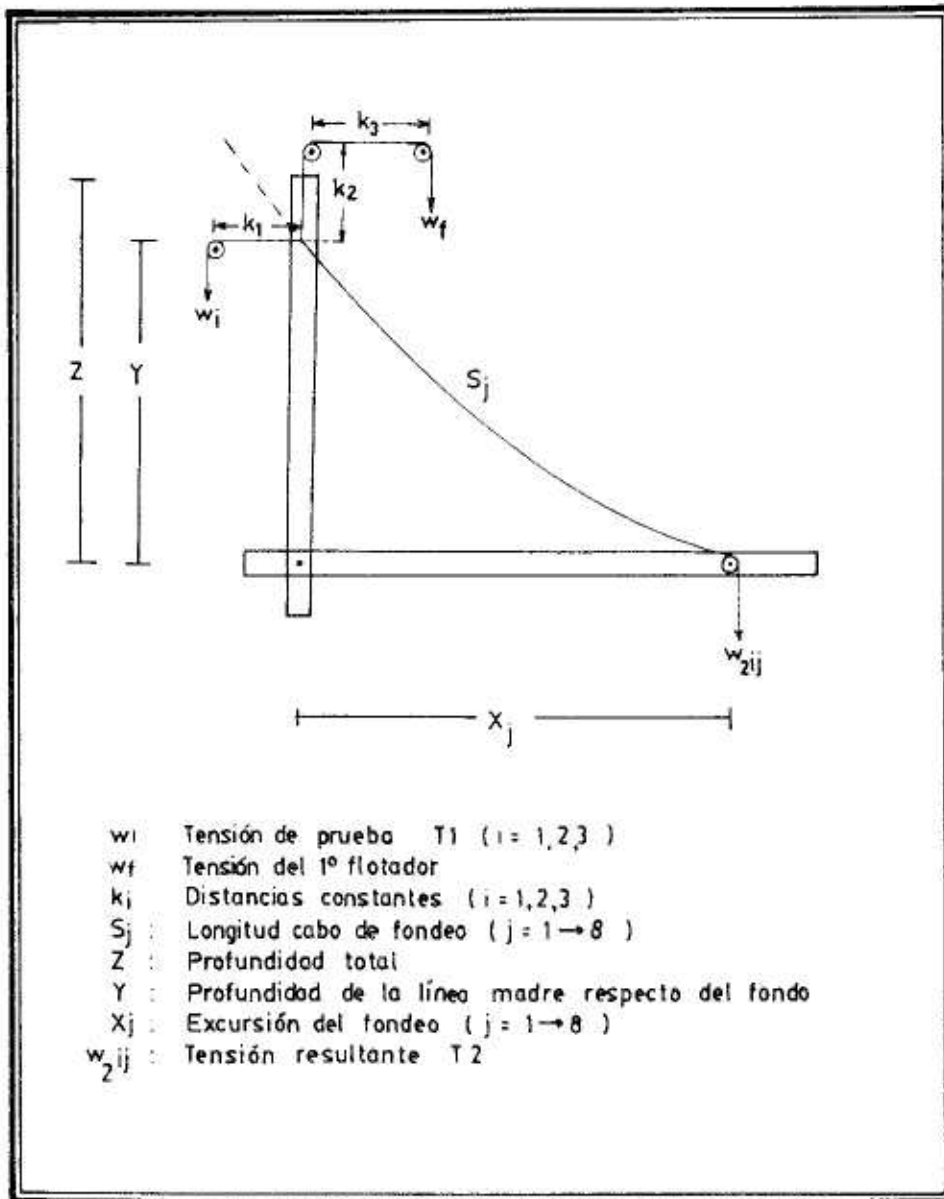


Figura 2: Esquema del modelo utilizado en la simulación mecánica modificado de FRIDMAN (1986); HATAKEYAMA y NAGASAKI (1985).

Asimismo, para cada una de las combinaciones de tensión y excursión consideradas en el experimento, se evaluó el ángulo del cabo de fondeo respecto a la vertical, mediante un transportador.

#### *Simulación análoga*

Esta técnica implica aparentar una situación real mediante el uso y aplicación de elementos improvisados, tangibles o no, cuyas características inter-relacionadas reflejen con la mayor aproximación posible la situación real que se está representando.

Al referirnos a una simulación análoga o mecánica estática, queda de manifiesto que se aparenta una situación mediante el uso de modelos a escala y elementos mecánicos simples, como pesos, resortes, etc.; cuya interacción no produce desplazamiento en el espacio.

Sin embargo, pruebas con modelos pueden presentar grandes divergencias con los resultados de estructuras de sistemas reales. El cálculo de una estructura dada, es permisible sólo si ciertas condiciones han sido consideradas.

Para la construcción del modelo fue necesario establecer dos escalas de similitud, con el fin de que los resultados obtenidos en la experiencia puedan ser aplicados a la estructura real. Las escalas a determinar son las siguientes:

a) *Escala lineal* ( $E_L$ ): Esta se selecciona de acuerdo al tamaño del banco o tablero de pruebas y a la facilidad para trabajar, siendo totalmente independiente de la escala de fuerza empleada ( $E_F$ ):

$$\text{Longitud del Modelo} = \frac{\text{Longitud Estructura a Escala Total}}{E_L}$$

En base a lo antes expuesto, para obtener las dimensiones de los cabos del modelo, se dividen sus correspondientes longitudes a escala total por la escala lineal seleccionada.

b) *Escala de Fuerza* ( $E_F$ ): Para el escalamiento de los pesos y fuerzas aplicadas al modelo, se toma como escala de fuerza la razón entre las fuerzas que actúan sobre la estructura real y las fuerzas que actuarán sobre el modelo:

$$\text{Fuerza que actúa sobre el Modelo} = \frac{\text{Fuerza sobre Estructura a Escala Total}}{E_F}$$

El escalamiento de los diámetros de hilos a utilizar en el modelo, se efectúa a través del despeje de la fórmula dada por BARANOV (1969), para calcular el peso de un hilo:

$$P = \frac{1}{4} * (\delta * d^2 * l * \pi)$$

luego, P está dado por:

$$P = \frac{P_R}{E_F}$$

donde: P = Peso del hilo del modelo [g]  
 d = Diámetro del hilo [cm]  
 l = Longitud del hilo [cm]  
 $\delta$  = Densidad del material [g/cm<sup>3</sup>]  
 P<sub>R</sub> = Peso del hilo a escala real [g]  
 E<sub>F</sub> = Escala de fuerza

Por otro lado, considerando las distintas configuraciones que puede adoptar el cabo de fondeo, es necesario determinar las excursiones de los anclajes a escala real en cada una de ellas.

En este caso, se asume que dicha configuración adopta la forma de una catenaria normal, con sus correspondientes parámetros f, L y S. Luego, conociendo la profundidad de trabajo de la línea madre con respecto al fondo (f), la longitud del cabo de fondeo (S/2) y los valores de las relaciones entre los parámetros f/L y f/S obtenidos de la tabla de catenaria, es posible calcular teóricamente la excursión del fondeo dada por L/2.

Posteriormente, los valores correspondientes a cada configuración fueron llevados a la escala del modelo por medio de la escala lineal antes definida.

#### *Experimento y análisis de los datos*

El objetivo del experimento fue establecer la configuración de diseño del cabo de fondeo, en función de la relación de aspecto del mismo, dada por la profundidad de la línea madre respecto al fondo y la longitud del cabo de fondeo, que permita lograr una disminución de la tensión resultante sobre el sistema de anclaje (T<sub>2</sub>), como también obtener un buen rendimiento de este cabo ante tal tensión resultante.

Para realizar el experimento de simulación mecánica, en primer lugar se determinaron las siguientes variables experimentales:

- *Variable A*: Tensión en la línea madre (T<sub>1</sub>). Como esta tensión es la que se transmite hacia el sistema de fondeo, se analizó su efecto considerando las siguientes magnitudes:

T<sub>11</sub> = 634 kgf, correspondiente a la tensión máxima obtenida en terreno (MARTINEZ, MELO Y CARROZA, 1990).

$T_{12}$  = 204 kgf, tensión promedio obtenida en terreno (MARTINEZ, MELO Y CARROZA (1990).

$T_{13}$  = 454 kgf, tensión calculada teóricamente (CARROZA, 1990).

- *Variable B*: Relación de aspecto (RA) entre la profundidad de la línea madre respecto al fondo (Y) y la longitud del cabo de fondeo ( $S_j$ ). En este sentido, los valores de RA considerados fueron: 1: 3 - 1: 3,5 - 1: 4 - 1: 4,5 - 1: 5 - 1: 5,5 - 1: 6 - 1: 6,5.

El experimento de simulación analizó las siguientes variables de estado:

a) *Resultante de tensión* ( $T_2$ ): Para establecer el comportamiento de la tensión resultante sobre el anclaje, a distintas relaciones de aspecto del cabo de fondeo, se graficaron los valores de  $T_2$  obtenidos al variar tanto la tensión inicial  $T_1$ , como la relación de aspecto utilizada.

b) *Angulo en el anclaje* ( $\phi_2$ ): Dado su importante efecto en la disminución de tensión hacia el sistema de anclaje y en la maximización del poder de agarre del mismo, se determinó dicho ángulo para cada relación de aspecto del cabo de fondeo analizada. Para ello, se evaluó el ángulo formado entre el cabo de fondeo y una línea imaginaria normal al sistema de anclaje, definido como  $\phi_2$ .

## RESULTADOS Y ANALISIS

Para realizar la experiencia con el modelo de simulación análoga, se determinaron las siguientes escalas de similitud:

- Escala lineal :  $E_L = 50$   
 - Escala de fuerza :  $E_F = 400$

Durante la experiencia, se observó visualmente la forma que adopta el modelo del cabo de fondeo ante los distintos valores de tensión a los cuales se vio sometido. Además, se pudo apreciar que este cabo toma una forma diagonal, lo que difiere con la configuración de catenaria que fue establecida teóricamente. Tal fenómeno podría ser producto de varios factores, entre los cuales se pueden mencionar:

a) **Sentido en que fueron aplicadas las cargas**: Ello se debe a que los accesorios del tablero de prueba sólo permiten trabajar bidimensionalmente, por lo cual la carga aplicada es de distinta naturaleza que aquella ejercida en forma real sobre la estructura.

b) **Acción de fuerzas hidrodinámicas**: Si bien es cierto que tales fuerzas son representadas en el sistema por las tensiones evaluadas *in situ*, el efecto conjunto de la interacción del entorno ambiental sobre el long-line no fue posible reproducirlo fielmente en el simulador.

c) **Dinámica de las cargas:** En el mar, las cargas que actúan sobre el sistema son continuas y dinámicas, variando tanto su intensidad como su sentido a través del tiempo. No obstante, aquellas aplicadas sobre el prototipo, si bien son representativas de las anteriores, son de naturaleza discreta.

d) **Influencia de la tensión del sistema:** Dadas las características particulares de diseño e instalación de un long-line en el medio marino, la forma que éste adopta se debe principalmente a que se encuentra sometido a tensión. En efecto, el long-line mantiene su configuración debido a la tensión resultante, producto principalmente del funcionamiento de los dispositivos de anclaje, la cual supera a la fuerza de equilibrio que se produciría por la interacción de las fuerzas del medio ambiente.

Al observar la Figura 3, se puede comprobar una disminución de tensión desde la línea madre hacia el sistema de anclaje. De esta manera, el valor de  $T_2$  fue siempre inferior a las tensiones de prueba ( $T_1$ ), seleccionadas y aplicadas en la línea madre, independiente de la relación de aspecto utilizada en el cabo de fondeo.

En este sentido, al promediar las diferencias entre  $T_1$  y  $T_2$  se aprecia que tales valores son directamente proporcionales a la magnitud de  $T_1$ , es decir, a medida que se incrementa la magnitud de la tensión sobre la línea madre, mayor es la diferencia entre ésta y la tensión resultante en el sistema de anclaje (Fig. 3).

Un análisis más detallado de la diferencia de tensión que se produce entre ambos puntos considerados en el long-line, permite establecer que si bien ésta ocurre en todas las relaciones de aspecto evaluadas, la mínima tensión resultante sobre el anclaje se logró al emplear relaciones de 1: 3,5 y 1: 5,5 entre la profundidad de la línea madre respecto al fondo y la longitud del cabo de fondeo, respectivamente (Fig. 3).

Por lo tanto, si se considera sólo el efecto de disminución de tensión hacia el sistema de anclaje, el cabo de fondeo debería tener una longitud igual a 3,5 o 5,5 veces la profundidad de la línea madre respecto al fondo.

Por otro lado, al evaluar los ángulos del fondeo a distintas relaciones de aspecto, se puede observar que éstos tienden a aumentar a medida que se incrementa dicha relación (Fig. 4). Esta tendencia se mantiene para los distintos valores de la tensión inicial ( $T_1$ ) utilizados en la experiencia.

Cabe señalar, que este ángulo varía entre  $68^\circ$  y  $71^\circ$ , para la relación de aspecto más pequeña (1: 3) y entre  $84,5^\circ$  y  $85^\circ$ , para la relación mayor (1: 6,5). Asimismo, para las relaciones de aspecto seleccionadas como las más recomendables en la experiencia anterior, considerando la tensión resultante  $T_2$ , los valores del ángulo del fondeo fluctúan entre  $72^\circ$  y  $83,5^\circ$ .

## DISCUSION

Si bien SERRANO (1989) señala que cuando se trabaja con el modelo de un sistema y se intenta recrear en laboratorio condiciones de terreno, es muy difícil que las variables que afectan al prototipo sean reproducidas en su totalidad y, además, de igual forma e intensidad. No obstante, la facilidad de su realización, el ahorro de tiempo y energía, y la



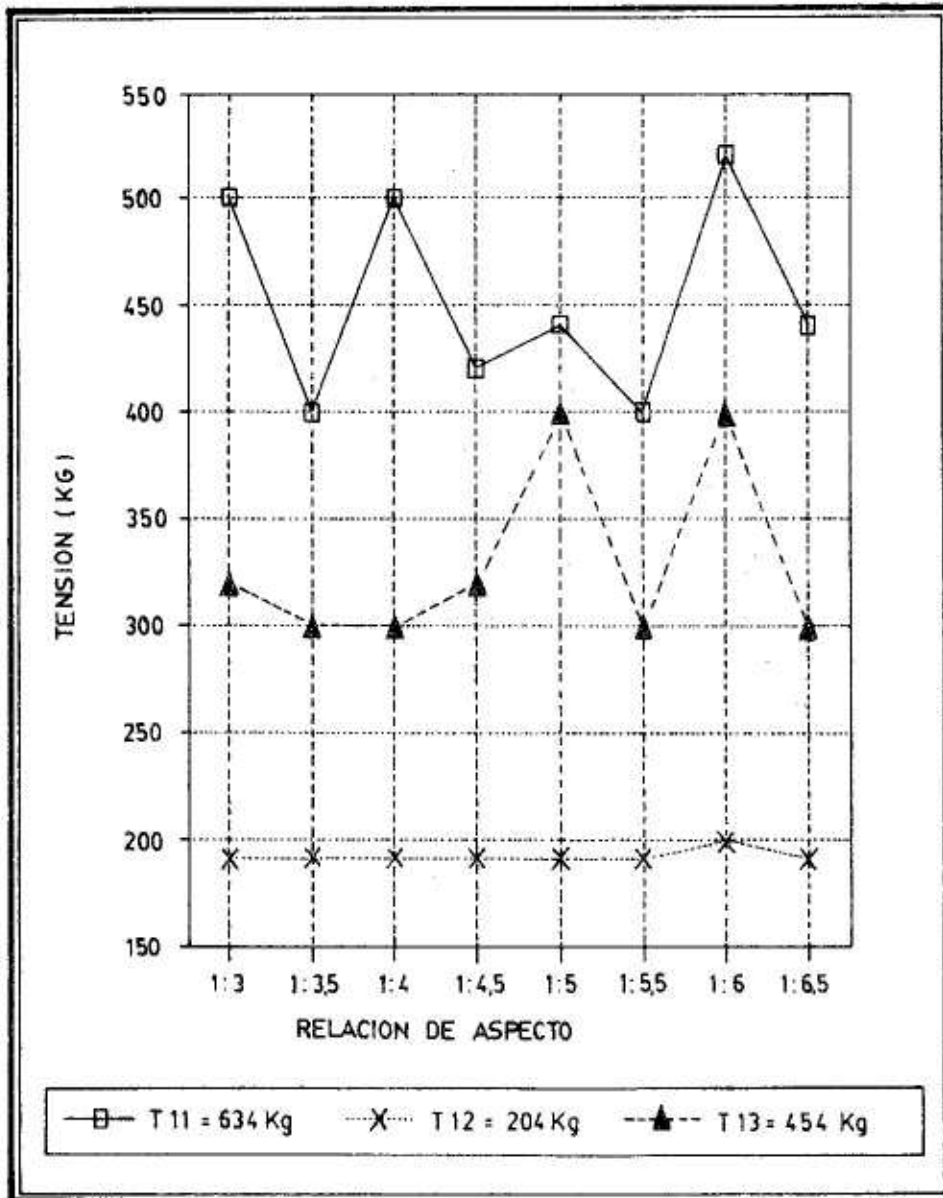


Figura 3: Tensión resultante T2 en el sistema de anclaje, utilizando escala real.

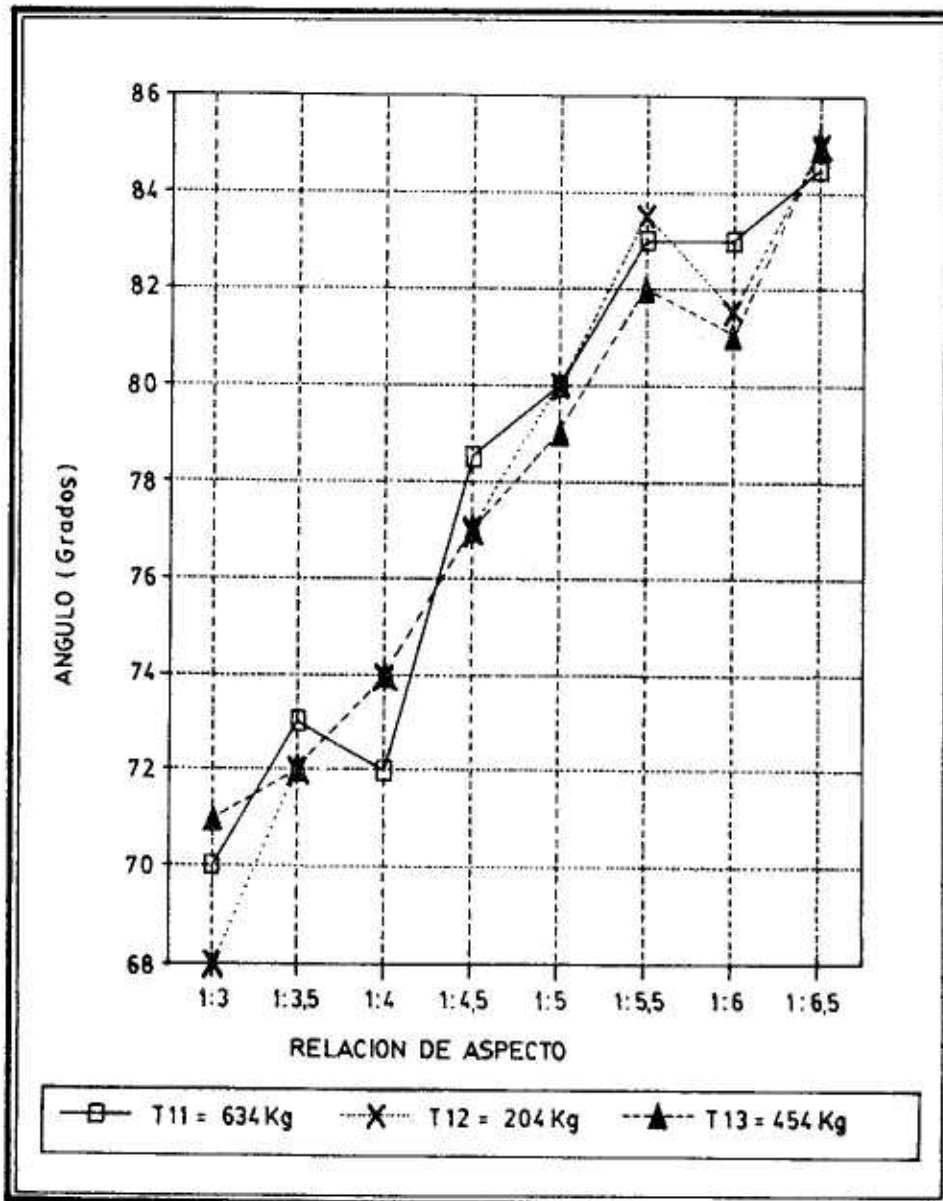


Figura 4: Angulo del fondeo teórico para un Long-line de cultivo.

dificultad que presenta generalmente la experimentación directa, hace de la simulación análoga una herramienta útil y sencilla para lograr comprender y visualizar la forma en que operan las estructuras inmersas en el mar.

En efecto, en este trabajo de investigación la simulación análoga fue utilizada exitosamente para definir el diseño del cabo de fondeo. Esta metodología permitió determinar la relación de aspecto que conjuga tanto una menor transmisión de tensión hacia el sistema de anclaje, como un buen rendimiento del mismo. En un long-line de cultivo, esta relación de aspecto entre la profundidad de la línea madre respecto al fondo y la longitud del cabo de fondeo, sería de 1:5,5 aproximadamente.

Esta relación, según SNYDER (1969), WIEGEL (1964) Y RENNELLA (1982), estaría dentro de los rangos recomendados para los sistemas de fondeo que integran anclas unitarias, como es el caso del long-line considerado en el presente trabajo.

Sin embargo, dicha relación permite cierta tolerancia para disminuir o aumentar su valor, según la incidencia de algunos factores como intensidad y dirección de la corriente, profundidad del lugar, etc. (RENNELLA, 1982). Al respecto, experimentalmente se pudo determinar que en un long-line de cultivo, la relación de aspecto del cabo de fondeo puede variar entre 1:5 y 1:6,5 sin alterar significativamente el rendimiento del sistema de anclaje.

### CONCLUSION

Para lograr una menor transmisión de tensión hacia el sistema de anclaje y un buen funcionamiento de los elementos que lo componen, se determinó que la relación de aspecto más adecuada, entre la profundidad de la línea madre respecto al fondo y la longitud del cabo de fondeo, está comprendida entre 1:5 y 1:6,5. De tal rango, la relación 1:5,5 es la que produce el mejor ángulo  $\phi_2$  en el sistema de anclaje.

### REFERENCIAS

- BARANOV, F. 1969. Selected Works on Fishing Gear. Volume I, Commercial Fishing Techniques. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 143-151.
- CARROZA, L. 1990. Determinación de una Metodología para la Selección y Dimensionamiento de un Sistema de Anclaje para un Long-line de Cultivo. Tesis Esc. de Ciencias del Mar, UCV, 187 pp.
- FRIDMAN, A. 1986. Calculations for Fishing Gear Designs. FAO Fishing Manuals by Fishing News Books Ltd. Farnham Surrey, England, 70-87.
- HATAKEYAMA, K. Y S. NAGASAKI. 1985. Study of Waves Forces Acting on Submarine Cable of Large Circular in Its Laying on Sea Bed. *In: Journal of the Faculty of Marine Science and Technology, TOKAI University.* (21): 89-97.
- MARTINEZ, G.; T. MELO Y L. CARROZA. 1990. Dimensionamiento y Selección de Componentes para un Long-line de Cultivo de Ostión del Norte en la Zona de Mejillones: I Parte. Dimensionamiento Teórico. *Estud. y Doc. Univ. Católica Valparaíso*, 4/90: 114 pp.
- RENNELLA, R. 1982. Manual de Maniobras. Centro Naval Instituto de Publicaciones Navales. Buenos Aires, Argentina, 139-189.

- SERRANO, J. 1989. Estimación de Coeficientes de Resistencia al Flujo en Cabos Utilizados como Líneas de Anclaje. Tesis Esc. Ciencias del Mar, UCV, 59 pp.
- SNYDER, R. 1969. Buoys and Buoy Systems. *In: Handbook of Ocean and Underwater Engineering*. John Myers, Carl Holm and Raymond McAlister (Ed.). Mc Graw-Hill, New York. Section 9: 90-100.
- WIEGEL, R. 1964. Mooring. *In: Oceanographical Engineering*. Prentice-Hall International Series. Theoretical and Applied Mechanics, Fluid Mechanics Series. 506-509.