

OBRAS SUMERSAS Y MODIFICACIONES EN LOS FONDOS DESTINADAS A PROVOCAR LA CONCENTRACION Y LA DISPERSION DE LA ENERGIA DE LAS OLAS DEL MAR*

Por FERNANDO VASCO COSTA
y JOSE FIUZA PERESTRELO

Los autores, ilustres ingenieros portugueses, presentan un interesante estudio sobre el tema del epígrafe, basado en la analogía entre las olas del mar y las ondas luminosas, como se dice en los primeros párrafos del trabajo.

1. Introducción.

El Prof. Ramón Iribarren Cavanilles y Mr. H. Gridel, han puesto en evidencia, hace pocos años, la perfecta analogía entre las olas del mar y las olas luminosas. Los dos tipos de olas, en efecto, se propagan de la misma forma y en las dos se notan los fenómenos de refracción, difracción, reflexión simple y total, interferencia, etc.

El reconocimiento de esta analogía ha permitido un desarrollo muy rápido del estudio de la propagación de las olas del mar, por simple utilización de los conocimientos llevados a cabo desde hace mucho tiempo sobre la propagación de la luz. Así, hoy es posible solamente a partir del conocimiento de las características de las olas a lo largo de las costas y del conocimiento del relieve submarino, prever cuáles serán las formas de las crestas de las olas, sus direcciones de propagación y las alturas de las olas en cualquier punto de una costa o de un puerto.

Hasta hoy, aún no se han utilizado para el estudio de la propagación de las olas todos los conocimientos disponibles sobre la propagación de la luz. Este es el caso de lo mucho que se sabe sobre el efecto de prismas y lentes sobre la propagación de olas.

En el presente artículo se discute la posibilidad de construir obras sumersas destinadas a provocar la concentración y la dispersión de energía, tal como las lentes provocan la de la luz. Las obras podrán tener la configuración en planta, de prismas o de lentes, o consistir apenas en modificaciones adecuadas del relieve submarino, por medio de dragados y de aterramientos.

Es de esperar que la utilización de obras sumersas para afectar la propagación de las olas presente particular interés en las regiones donde las tempestades locales no suelen provocar olas de gran importancia, como en el caso de las zonas calmosas ecuatoriales. En tales regiones, el oleaje proveniente de temporales

lejanos, siempre de gran longitud, asume particular importancia. El oleaje de gran longitud es el más fácil de desviar por obras sumersas.

2. Refracción de olas del mar. Planos de oleaje.

Al revés de las olas luminosas visibles, cuyas longitudes varían entre estrechos límites y todas se propagan con velocidad muy cerca de 300 000 Km./seg., las olas del mar, cuya longitud puede ser de pocos metros hasta centenas de metros, se propagan a la superficie del agua con velocidad que varía entre largos límites.

Además, la velocidad de la propagación de las olas del mar depende no solamente de la longitud de la ola, pero también de la profundidad del agua.

Si designamos por H la profundidad del agua, por C la velocidad a que se mueve la ola de longitud L , se puede escribir:

$$C = \sqrt{\frac{gL}{\pi} \operatorname{Cth} \pi \frac{H}{L}}$$

Haciendo aplicaciones sucesivas de esta expresión para una ola que encuentre al propagarse diversas profundidades, es posible, a partir del conocimiento de la posición de una cresta a lo largo, trazar las sucesivas posiciones de esa cresta al final de determinados intervalos de tiempo. A estos trazados es corriente designarlos por planos de oleaje, y a su divulgación han contribuido, en particular, el Prof. Ramón Iribarren y D. Casto Nogales.

Consideremos la ortogonal de una ola que se propaga con una velocidad C_1 y que, en virtud de una reducción de profundidad de agua, se reduce a C_2 . Como en la óptica los ángulos que la ortogonal, o sea la dirección de la ola, hacen con la normal a la línea de cambio de profundidades, se encuentran relacionadas por la ley de Descartes, también conocida por Snell:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r}$$

(*) Adaptado de un artículo publicado en el número 283 de la revista portuguesa *Técnica*.

En esta expresión, la relación C_1/C_2 corresponde al índice de refracción de la óptica (fig. 1.^a).

Estos conocimientos son muy utilizados en el tratado de planos de oleaje.

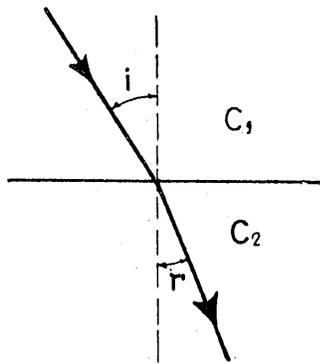


Figura 1.^a

3. Desviación intencional de las ortogonales mediante obras sumersas.

En el caso de introducirse modificaciones en la forma del relieve submarino, forzosamente que las condiciones de propagación de las olas serán afectadas. Esas modificaciones podrán consistir en dragados o en la ejecución de diques sumersos.

Como la longitud de las olas luminosas es muy reducida, aproximadamente de algunas décimas de micron, se sabe muy poco sobre el modo cómo su propagación es afectada por obstáculos de la misma orden de grandeza.

Como no será económico introducir modificaciones con dimensiones tan largas en relación a las longitudes de olas, como suelen tener los prismas y las lentes en relación a las longitudes de olas de la luz, hace falta determinar en laboratorios cuáles serán las dimensiones mínimas de una obra sumersa para conseguir su desviación como si fueran olas luminosas.

La ejecución de dragados y de rellenos que las potentísimas dragas modernas pueden hacer económicamente, serán suficientes para afectar las condiciones de propagación de las olas y como consecuencia de afectar la altura de las olas. Así ha hecho la Naturaleza en algunos casos. Como ejemplo puede citarse un dique de defensa en Long Beach (California), que ha sido destruido por olas que no se veían a lo largo, pues su altura era solamente de un metro y su longitud de 600 metros. La configuración de los fondos ha provocado la concentración de energía, de tal forma, que al llegar al dique la ola ya tenía 5 metros de altura (Bull. Beach Erosion, Ist July 1950).

Algunos ensayos realizados permiten pensar que, por lo menos en algunas condiciones especiales, las olas sufren transformaciones diversas, además de refracción, tales como dividirse en olas de menor longitud. Es de esperar que tales transformaciones no presenten inconvenientes cuando el objetivo de las

obras sumersas sea solamente el de provocar abrigo.

Aunque se espere que la configuración más favorable a obras sumersas sea la de lentes, en los párrafos siguientes, para simplificar la exposición del asunto, sólo se tratará de prismas.

4. Empleo de prismas para el desvío de ortogonales.

Consideraremos una ortogonal de una ola que se propaga en fondos horizontales. Esa ortogonal será rectilínea. Si la ola encontrara un obstáculo sumerso con la forma triangular en planta y cuya faz superior se encuentre bastante sumergida para no provocar el rompiente de la ola, la ortogonal sufrirá un desvío angular del mismo valor que sufriría un rayo luminoso para el cual el rompiente entre velocidades de propagación fuera y dentro del prisma fuese igual a la posición entre las velocidades de propagación de la ola fuera y sobre el obstáculo.

Podremos así determinar el desvío D de la ortogonal a partir del conocimiento del ángulo del prisma A y de las velocidades de propagación de la ola fuera del prisma C_1 y velocidad de propagación sobre el prisma C_2 (fig. 2.^a).

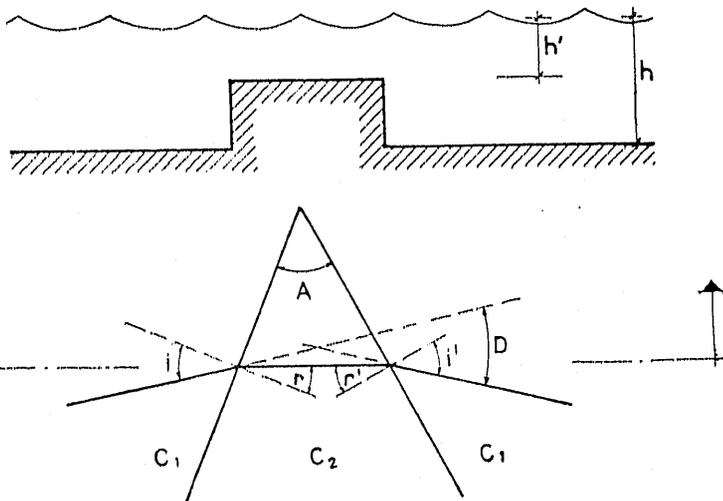


Figura 2.^a

Como en la óptica será:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{\text{sen } i'}{\text{sen } r'}$$

$$A = r + r'$$

El desvío será dado por:

$$D = i + i' - A$$

El desvío tendrá el valor mínimo siendo $i = i'$.

El cuadro I indica los desvíos máximos y mínimos que pueden ser provocados por prismas con 10 m. de

CUADRO I

Desvíos de las ortogonales producidos por un prisma con 10 m. de altura en fondos de 25 m. de agua.

Angulo del prisma	Desvíos	LONGITUD DE LA OLA			
		100 m.	200 m.	300 m.	400 m.
10°	Mín.	1°20'	2°20'	2°20'	2°40'
	Máx.	17°00'	20°10'	21°00'	21°30'
20°	Mín.	3°00'	4°40'	5°10'	5°20'
	Máx.	21°10'	25°20'	26°30'	27°10'
30°	Mín.	4°00'	7°10'	7°40'	8°00'
	Máx.	23°40'	28°40'	30°00'	30°50'
40°	Mín.	6°00'	9°20'	10°20'	10°40'
	Máx.	25°30'	31°20'	33°00'	33°40'
50°	Mín.	7°40'	12°00'	13°20'	14°00'
	Máx.	27°10'	33°30'	35°20'	36°20'
C_1/C_2		1,140	1,218	1,243	1,255

altura en fondos de 25 m. Los 15 m. de altura que quedan por encima del prisma serán suficientes para permitir el pasaje de buques, teniendo en cuenta la presencia de olas.

En la última línea del cuadro se indican las relaciones C_1/C_2 correspondientes a los índices de refrac-

CUADRO II

Desvíos de las ortogonales producidos por un prisma con 10 m. de altura en fondos de 20 m. de agua.

Angulo del prisma	Desvíos	LONGITUD DE LA OLA			
		100 m.	200 m.	300 m.	400 m.
10°	Mín.	2°40'	3°20'	3°40'	4°00'
	Máx.	21°10'	23°50'	24°40'	24°50'
20°	Mín.	5°20'	7°00'	7°40'	8°00'
	Máx.	27°00'	30°20'	31°30'	31°50'
30°	Mín.	8°00'	10°40'	11°20'	11°40'
	Máx.	30°40'	34°50'	36°20'	36°50'
40°	Mín.	11°00'	14°20'	15°40'	16°00'
	Máx.	33°40'	38°30'	40°10'	40°50'
50°	Mín.	14°00'	17°00'	20°20'	21°00'
	Máx.	36°10'	42°00'	43°50'	44°30'
C_1/C_2		1,253	1,336	1,364	1,376

ción de la óptica. Se puede verificar que esos índices son mayores que los mejores índices de los vidrios utilizados en la construcción de lentes.

Los cuadros permiten verificar que el desvío de las ortogonales es tanto mayor cuanto menor sea la altura del agua sobre el prisma, mayor sea el ángulo del prisma y mayor sea la longitud de la ola. Como suelen ser las olas de mayor longitud las que mayor perjuicio causan a las obras, esta es una circunstancia que parece favorecer el empleo de obras sumersas para el desvío de las ortogonales, en particular en las regiones calmosas ecuatoriales, donde el oleaje de gran longitud asume particular importancia.

5. Formas de utilización de los prismas y lentes.

Solamente después de realizados ensayos en laboratorios y en la Naturaleza, se podrá saber la viabilidad económica de la utilización de obras sumersas construídas con el objetivo de afectar las condiciones

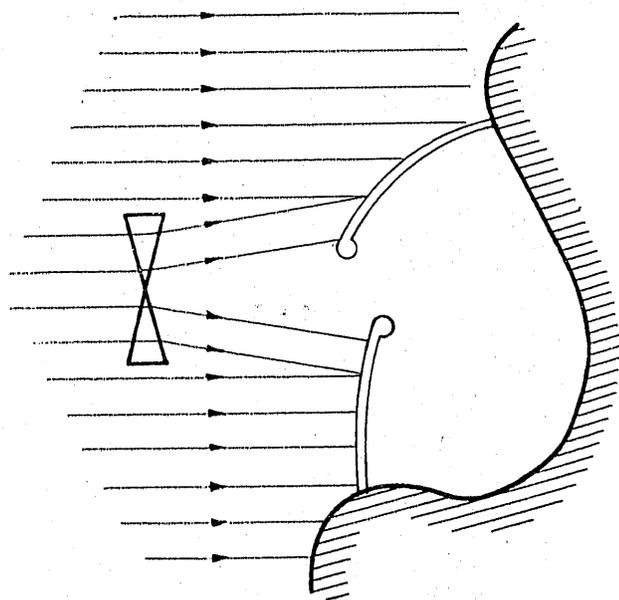


Figura 3.^a

de propagación de las olas. Por sugestión, se presentan en seguida algunas posibilidades de utilización de obras sumersas.

a) *Protección de las entradas de los puertos.*— La selección de extensión conveniente para las entradas de los puertos es, en la mayor parte de los casos, un compromiso entre dos factores: las entradas deben ser bastante anchas para que los barcos puedan pasar

sin dificultad, y ellas deben ser bastante estrechas para que disminuya la entrada de olas en el puerto. Se espera que, si se sabe la dirección de la ola, el empleo de obras sumersas puede permitir unas entradas más anchas (figs. 3.^a y 4.^a).

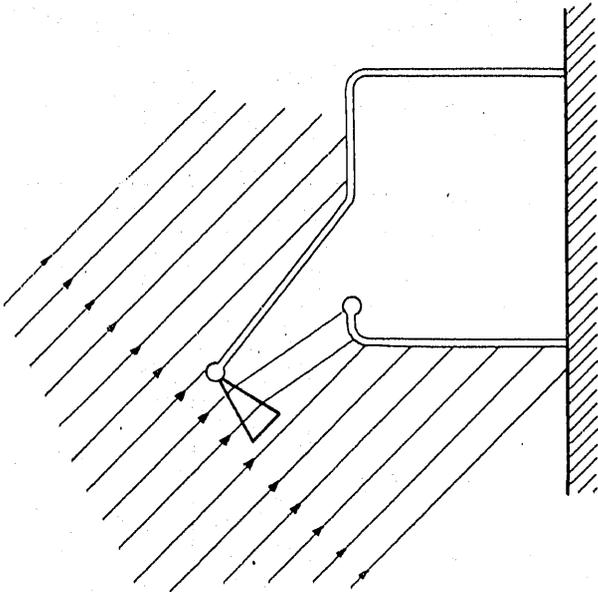


Figura 4.^a

Debe notarse que este tipo de obra sumersa puede ser construída en el mismo frente de la entrada del puerto; desde que el nivel del prisma esté bastante abajo de la superficie del agua, no ocasionará el rompimiento de olas y dejará pasar libremente los barcos.

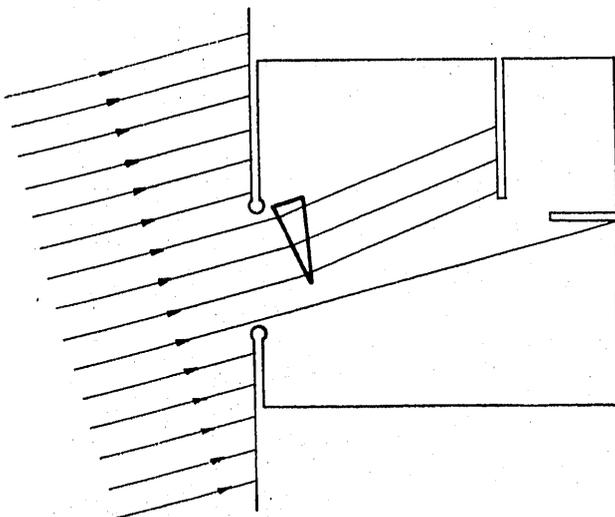


Figura 5.^a

b) *Mejoramientos de condiciones de olas en las dársenas.* — Las olas sólo pueden entrar en las dársenas si son provenientes de una dirección especificada, como, por ejemplo, a lo largo de la línea que junta las entradas del puerto y dársena. En este caso, las obras sumersas darían una prueba eficaz y simple (figura 5.^a).

c) *Protección de la costa.* — La protección de la costa se hace, en general, mediante la construcción de obras que eviten la corrosión de olas. Se espera que haya alguna economía en la protección de la costa con el empleo de obras sumersas, especialmente si controlan la corrosión y la acreación.

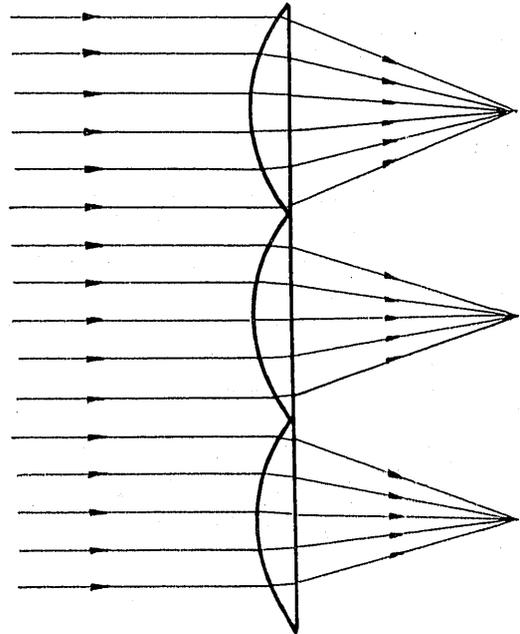


Figura 6.^a

d) *Rompimiento de olas.* — La forma de lentes de obras sumersas a una distancia conveniente de la costa, puede ser construída para concentrar la energía de las olas a una extensión para que ellas se vuelvan inestables y, por ese motivo, se rompan (fig. 6.^a).

Como estas obras sumersas son diferentes del rompeolas, no son expuestas al choque de las olas que ellas rompen. Así sería posible emplear para su construcción materiales más ligeros y baratos.

e) *Instalaciones para la utilización de energía de las olas.* — Uno de los principales elementos de este tipo de instalación es el diedro de concentración de energía. Se espera que la construcción de obras sumersas en frente de estos diedros mejoraría conside-

rablemente su utilización, o permitiría una economía en su longitud y en su coste.

6. Formas de realizar modificaciones en los fondos.

En virtud de los movimientos orbitales de las olas reducidas rápidamente desde la superficie del agua para abajo, y que en la parte superior de las obras

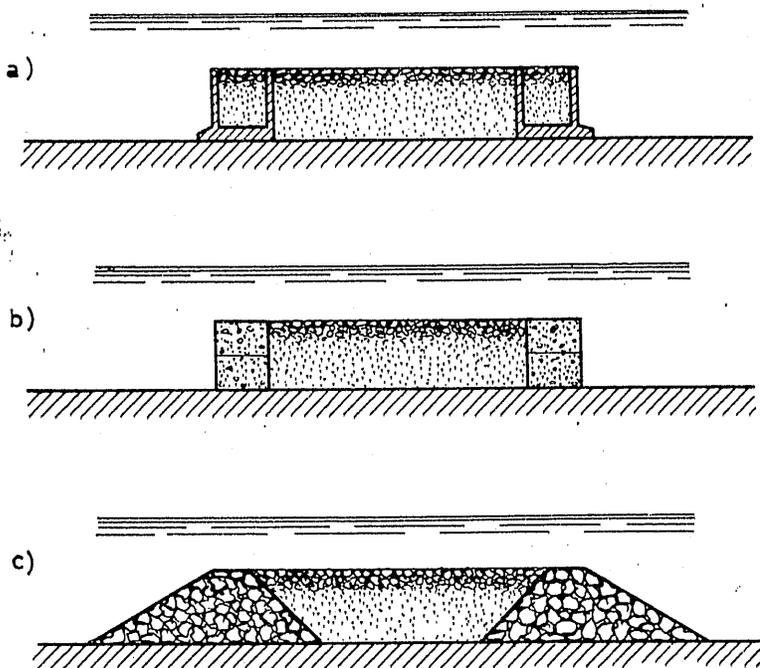


Figura 7.ª

sumersas siempre quedará después muy por abajo de la superficie del mar, tales obras podrán ser constituidas por materiales muchísimo más ligeros que los utilizados en la construcción de diques de defensa,

En la figura 7.ª se presentan algunas sugerencias para tipos de diques sumersos. Combinando un prisma elevado con un prisma rebajado, se podrá no solamente reforzar el efecto de desviación, sino también una considerable economía si los materiales dragados se pueden utilizar para relleno (fig. 8.ª).

Las modificaciones del relieve submarino para

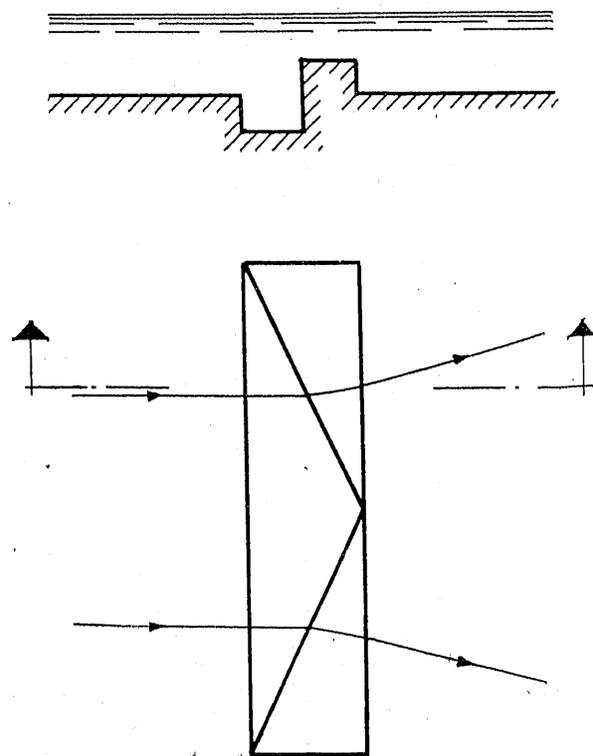


Figura 8.ª

afectar la propagación de las olas no necesitan tener las formas bien definidas como las representadas en la figura 7.ª, y podrán consistir en simples dragados o rellenos.