

ENSEÑANZAS ADQUIRIDAS EN LOS PUERTOS DEL GRUPO DE GUIPUZCOA. - PUERTO DE MOTRICO

Por RAMON IRIBARREN CAVANILLES

Ingeniero de Caminos.

En nuestro número anterior se inició este importante trabajo, explicándose en aquel preámbulo su alcance, por lo que recomendamos al lector interesado en el tema lo relea o lo recuerde, para la mejor comprensión del presente, en que concluye la referente al puerto de Motrico.

(Conclusión.)

Graves dificultades del puerto de Motrico.

Aunque los otros seis puertos del Grupo de Guipúzcoa tenían también graves dificultades necesarias de corrección, nos vamos a limitar, en el presente proyecto, a las correspondientes al puerto de Motrico, de cuyo estudio y detenida observación se han obtenido las interesantes enseñanzas y los métodos generales de cálculo correspondientes, a los que a continuación vamos a referirnos.

Durante cada uno de los temporales o fuertes marejadas que se produjeron a partir del citado año

de 1929, en el que se constituyó el Grupo de Puertos de Guipúzcoa, se visitaron y se hicieron observaciones en todos los puertos del mismo.

En el de Motrico, los resultados fueron realmente sorprendentes, pues bastaba no ya un violento temporal, sino cualquier marejada exterior, para que la agitación en el interior del puerto fuese realmente impresionante, llegando los rociones hasta los tejados de las casas próximas, situados a más de veinte metros sobre el nivel del mar.

Esto hacía que la denominada dársena grande, o exterior, resultase totalmente inutilizable, viéndose

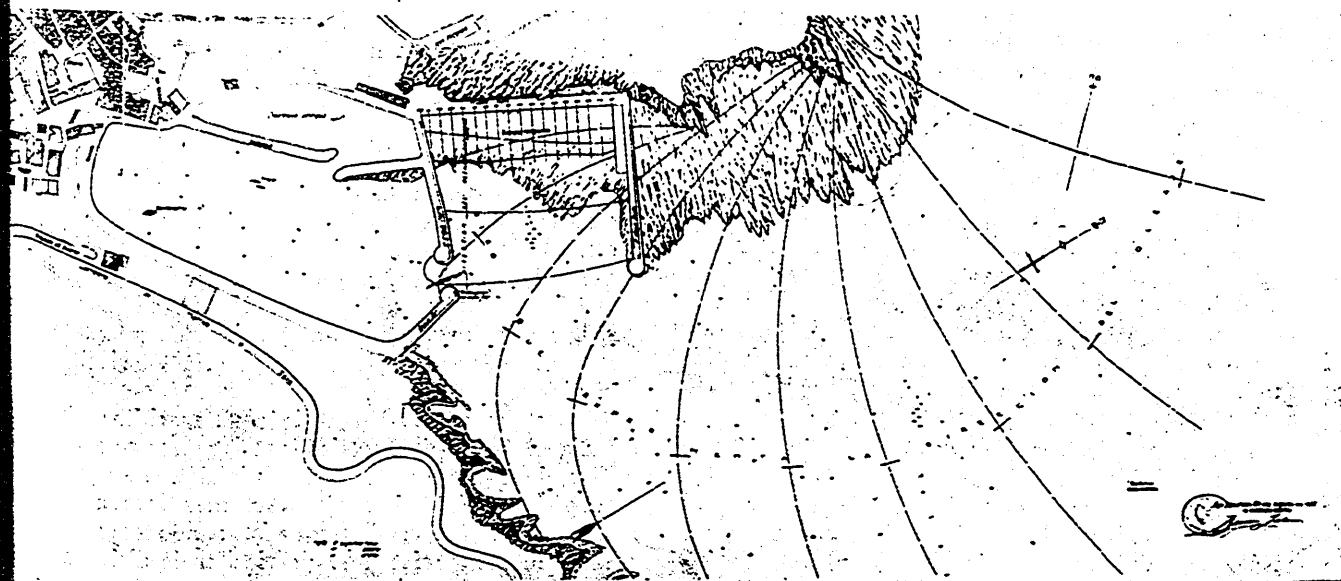


Fig. 1.ª — Plano de oleaje del "Proyecto de rampa rompeolas del puerto de Motrico". Año 1932.

obligada la forzosamente reducida flotilla del puerto a fondear solamente en la dársena antigua, o pequeña, que incluso tenían que abandonar, por ser intenable, los días de temporal, yéndose a refugiar al vecino puerto de Ondárroa antes de que el temporal llegase a alcanzar su máxima intensidad, teniendo que atravesar la entonces peligrosa barra de este puerto vecino.

Historia del puerto de Motrico.

Para comprender lo que sucedía en el puerto de Motrico es preciso hacer aunque no sea más que una breve historia de las diversas etapas de su construcción.

El antiguo puerto de Motrico estaba constituido únicamente por la que hoy se denomina dársena antigua o pequeña (fig. 1.^a).

El insigne Ingeniero e ilustre hijo de Motrico, don Evaristo Churrua, que después de tenaz lucha con el Cantábrico había conseguido resolver el difícil y principal problema del puerto de Bilbao, construyendo en forma eficaz y resistente sus diques de abrigo exteriores después de su primera destrucción por la violenta acción del mar, puso todo su afán en ampliar y tratar de mejorar el pequeño puerto pesquero de su pueblo natal.

Para ello proyectó y construyó, a fines del pasado siglo y comienzos del presente, la gran ampliación del mismo, realmente espléndida para un puerto de bajura de aquella época, constituida por los denominados Primer dique y muelle Norte y dique y muelle Sur (fig. 1.^a), transformando en puerto, con una ancha boca de 150 m. y aparentemente bien abrigada de los mares del NO., la ensenada natural, exterior al pequeño puerto antiguo.

Aunque al avanzar la ejecución de las obras la agitación interior a ellas iba aumentando, se esperaba que al terminar la construcción de los diques de abrigo Primero, Norte y Sur, disminuyese eficazmente.

Desgraciadamente no sucedió así, sino que, después de terminada la ampliación, no sólo en la nueva y amplia dársena exterior limitada por el primer dique Norte y por el dique Sur, sino también en la antigua, la agitación interior aumentó de tal modo que la dársena nueva resultó absolutamente inutilizable, e incluso las condiciones de utilización de la antigua empeoraron muy peligrosamente.

Para tratar de remediar esta grave situación se construyó rápidamente el segundo dique Norte (figura 1.^a), dejando fuera del puerto al muelle Norte y al primer dique Norte, y reduciendo la boca de 150 m. a sólo 20, mínimo necesario para la entrada de los barcos, con el paradójico resultado de no conseguir mejora alguna en la violentísima agitación interior, que más bien aumentó y que hacía totalmente inuti-

lizable la dársena grande, quedando la antigua en la difícil situación indicada anteriormente.

Como consecuencia de estos desalentadores resultados, se renunció a la ejecución de nuevas obras por el temor de que también resultasen perjudiciales, lo que hubiese obligado a la flotilla del puerto al forzoso y total abandono del mismo.

En esta grave situación quedó el puerto de Motrico desde su ampliación, ejecutada a principios de siglo, hasta la creación del Grupo de Puertos de Guipúzcoa el año de 1929.

Causas de las dificultades del puerto de Motrico. Cambio de dirección del oleaje antes de abordar la boca de entrada. Reflexiones interiores. Resonancia de la onda de resaca.

PLANOS DE OLAJE.

A partir del año de 1929, y después de largas y detenidas observaciones de los temporales y fuertes marejadas, se descubrió que, aunque la dirección originaria de sus oleajes en mar libre, o profundo, era siempre del NO., se producía, fuera del puerto y antes de llegar a él, una acentuada desviación en dicha dirección, haciendo que llegase al puerto y penetrase por su ancha boca con dirección próxima al Este, chocando en el muelle Norte en dirección casi normal a él, o sea con dirección aproximada al SE., lo que suponía una desviación aproximada a 180° en relación a su dirección primitiva del NO.

En un principio se pensó que esta acentuada desviación fuese debida a la reflexión en los acantilados que constituyen la costa inmediata hacia el Este del puerto; pero la detenida observación del oleaje comprobó que no era así, sino que se producía un verdadero y aparentemente injustificado giro de dicho oleaje en mar abierto y antes de llegar al puerto, lo que hacía que la ancha boca del primitivo proyecto de ampliación, que por abrirse hacia el Este se estimó que debía de abrigar eficazmente al puerto de los temporales del NO., realmente no lo hacía así, por quedar francamente abierta a la dirección real del oleaje después de su giro en mar abierto, llegando a ella del Este y penetrando de lleno en el puerto.

Después de estudiadas, también detenidamente, las cartas marítimas con sus curvas batimétricas, se llegó por fin a descubrir la causa de esta desviación del oleaje en mar abierto.

Las profundidades en la zona marítima situada hacia el Oeste de Motrico son menores que las del Este, lo que hace que las celeridades, o velocidades de propagación del oleaje, sean menores en la primera zona que en la segunda, dando origen a la hasta entonces misteriosa desviación de dicho oleaje.

Así se inició el desarrollo del denominado "Método de los Planos de Oleaje", actualmente de general y básica aplicación en la técnica marítima.

El primer plano de oleaje fué, indudablemente, el que acompañó al denominado "Proyecto de rampa rompeolas del puerto de Motrico". redactado el año de 1932 y que se reproduce en la figura 1.^a.

En este primitivo plano de oleaje, y según se hizo constar en dicho proyecto, se calcularon las celeridades de propagación de la onda mediante la fórmula de Lagrange $C = \sqrt{gH}$, siendo H la profundidad.

Esta fórmula es de aplicación aceptablemente aproximada en profundidades reducidas $\frac{H}{L} \approx \frac{1}{10}$, siendo L la semilongitud de onda.

Posteriormente se perfeccionó el método mediante

REFLEXIONES DEL OLAJE.

Todo lo anterior explicaba la causa por la que los temporales prenetraban en la primitiva y ancha boca del puerto de Motrico, a pesar de estar atravesada a la dirección NO. de los temporales originarios en mar profundo, pero no explicaba aún las causas del gran aumento de la agitación interior, incluso después de pasar a través de la reducida boca que se constituyó con la construcción del segundo dique Norte.

Del estudio del primitivo plano de oleaje del año de 1932 (fig. 1.^a), se dedujo ya que la reflexión en

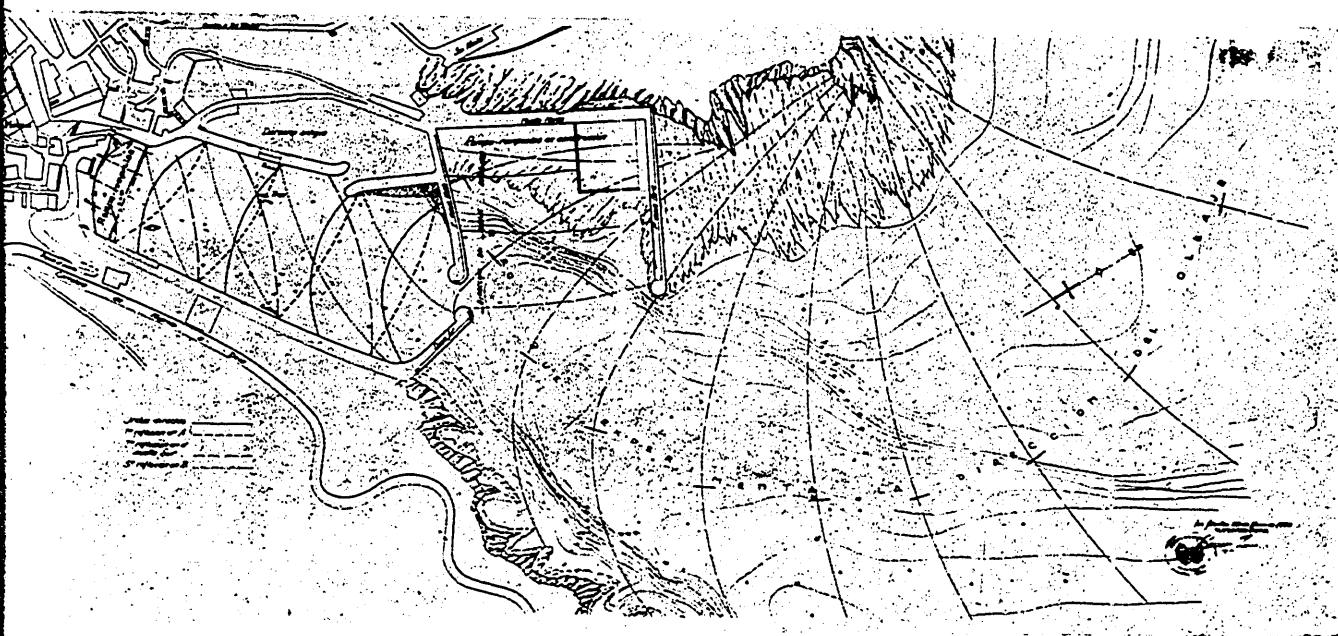


Fig. 2.^a — Plano de oleaje del "Proyecto de rampa rompeolas en el interior del puerto de Motrico". Año 1936.

la aplicación de la fórmula general de la teoría trocoidal $C = \sqrt{\frac{g}{\pi} \frac{L}{K}}$, siendo $K = C \operatorname{th} \frac{\pi H}{L}$, precisándose mejor el trazado de las normales, o trayectorias de avance, y determinándose además las alturas del oleaje en cualquier punto del plano, mediante las denominadas expansiones frontales y laterales.

Después de comprobados sus resultados, no sólo en el puerto de Motrico, sino en los otros seis pequeños puertos de Guipúzcoa, se publicó el Método en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de enero de 1941, siendo inmediatamente traducido y publicado por numerosas revistas técnicas de varias nacionalidades, a pesar de lo cual todavía se pretende desconocer su origen en algunos países en los que, con otras denominaciones pero incluso con similares notaciones, se inició muy posteriormente su publicación.

el muro del muelle Norte, del oleaje desviado por las causas expuestas, originaba un segundo temporal reflejado, cuyas olas, al pasar de nuevo frente a dicha estrecha boca, casi duplicaban las agitaciones originadas por el temporal marítimo primitivo. Para evitarlo se propuso en el citado "Proyecto de rampa rompeolas del puerto de Motrico", del año 1932, la construcción de la rampa rompeolas o anuladora de energía, indicada en la citada figura 1.^a, con la que se recubrió el plano vertical reflejante de dicho muro, para hacer romper a la ola, anulando dicha reflexión.

Todas estas cuestiones, tanto referentes a los planos de oleajes como a los taludes rompeolas, se detallan debidamente en nuestro "Tratado de Obras Marítimas", en el que se han recopilado los métodos de cálculo obtenidos, principalmente, en los pequeños puertos de Guipúzcoa.

Aunque se consiguió así disminuir algo la impresionante agitación en el interior de la denominada dársena grande, aún resultaba, también paradójicamente, mucho mayor que la agitación exterior a la boca.

Las causas de esta otra aparente anomalía se explicaron en el "Proyecto de rampa rompeolas en el interior de la dársena del puerto de Motrico", redactado en el año 1936, cuyo plano de oleaje se reproduce en la figura 2.^a, en el que claramente se indicaron ya las numerosas reflexiones originadas en todo el contorno de la dársena grande, constituido por muros verticales reflejantes, cuyo cruce y consiguiente totalización ocasionaban aumentos tales que, con el máximo temporal, que no llega a producir en el exterior de la boca olas de cinco metros de altura, se producían en el interior de la dársena tremendas protuberancias y rociones de más de veinte metros de altura, lo que la hacían totalmente inutilizable.

Siendo la primera y más peligrosa reflexión la que se originaba en el muro cóncavo del fondo de la dársena, opuesto a su boca, se redactó el citado Proyecto para construir, adosada a él, la rampa rompeolas correspondiente, con el fin de anular dicha reflexión.

A la ejecución de este Proyecto trataron de oponerse casi unánimemente los pescadores de Motrico, pues, especialmente los no demasiado jóvenes, recordaban que, según su opinión y la de los técnicos que trataron inútilmente a principio de siglo de remediar las malas condiciones del puerto, textualmente se aseguraba: "El peor mar del mundo es el de Motrico, pues cuanto más obras se ejecutan en él para mejorarlo, más empeora su situación". Debido a esta generalizada opinión, decidida y con aparentemente justificados motivos, se oponían a la ejecución de cualquier nueva obra. También, casi unánimemente, opinaban que nunca sería posible fondear durante los temporales, ni aun durante las marejadas, en la dársena grande.

A pesar de esta oposición, casi general, se ejecutaron las obras de la rampa de rompeolas, cuyos fundados estudios permitían asegurar el éxito que la realidad comprobó plenamente, pues las condiciones que hacían imposible la utilización de la dársena grande se vencieron al fin, consiguiéndose hacerla utilizable para el fondeo y hasta para el atraque de embarcaciones.

RESACAS.

Otra dificultad que presentaba el puerto de Motrico, además de su imponente agitación originada por los oleajes o marejadas, era el también misterioso fenómeno de las resacas.

Este grave fenómeno, que también lo padecían otros puertos nacionales y extranjeros, consistía en unas fuertes corrientes alternativas que se producían

en el interior de las dársenas, durante los temporales o fuertes marejadas, incluso en puertos bien abrigados para el oleaje.

Como de todos modos el fenómeno tenía su origen en la agitación del mar, exterior al puerto, se había intentado aminorarlo en varios puertos, abrigando mejor o estrechando su boca, sin obtener resultado práctico alguno, como sucedió en el propio Motrico después de estrechar la boca primitiva de 150 m. a 20, con la construcción del segundo dique Norte, a pesar de lo cual, las terribles resacas no se aminoraron, sino que aumentaron.

Como tampoco los textos de puertos, de aquella época, indicaban nada preciso ni concreto respecto a las causas y medios de combatir este peligroso fenómeno, que llegaba a hacer romper amarras de los barcos fondeados en el interior de los puertos que lo padecían, habiéndose producido incluso choques entre barcos y naufragios, hubo que proceder también a su estudio directo en los pequeños puertos de Guipúzcoa en los que acusadamente se hacía sentir, que por orden de intensidades eran Motrico, Guetaria y San Sebastián.

Después de largas observaciones de las corrientes alternativas que claramente se acusaban en las bocas de estos tres puertos, se determinó que el período de las máximas y más terribles resacas era del orden de los tres minutos y medio o cuatro minutos, siendo así que el período del máximo oleaje observado no rebasaba los diez y nueve segundos.

Después de confirmado este interesante resultado, se llegó a la conclusión de que durante los temporales de mar no solamente se producían los violentos oleajes correspondientes, sino que se originaban, además, otras ondas de mucho mayor período y longitud, y que por ser la causa de las hasta entonces misteriosas resacas en el interior de los puertos, las denominamos ondas de resaca.

Observado el fenómeno en las playas se determinó que también alternativamente y con un ritmo similar, de tres y medio a cuatro minutos, las olas subían más o menos en ellas durante los temporales o fuertes marejadas.

Determinada aproximadamente, a base de los recorridos de las oscilaciones y de la pendiente de la playa, la componente vertical, o altura, de este movimiento, se comprobó que rara vez rebasaba el medio metro. Por el contrario, en la parte opuesta a la boca de los puertos que acusaban fuertes resacas la amplitud vertical llegaba a ser superior a los dos metros, o sea mucho mayor que en mar abierto.

La única explicación posible para este también aparentemente paradójico resultado, era la amplificación por resonancia de la oscilación forzada dentro del resonador hidráulico constituido por la dársena.

Desarrollado este estudio en la forma que se publicó en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de abril de 1948, y que también se ha recopilado en nuestro

"Tratado de Obras Marítimas", se dedujo que al variar la longitud o la profundidad del puerto se variaba el periodo propio de oscilación de la dársena, pudiéndose conseguir que, en ningún estado de marea coincidiese con el de la onda de resaca, con lo que, evitada la temible amplificación por resonancia, el puerto quedaría aceptablemente tranquilizado.

RESUMEN.

En resumen, de los largos y detenidos estudios efectuados en los pequeños puertos pesqueros de bajura de Guipúzcoa y muy especialmente de los efectuados en el difícil puerto de Motrico, se han deducido el "Método de los Planos de Oleaje", básico de la técnica marítima actual, y el "Método de cálculo y

amortiguación de las oscilaciones de Resaca", que, además de otros varios métodos de cálculo de obras marítimas, seguimos afinando mediante estudios en la naturaleza y ensayos efectuados en el Laboratorio de Puertos, a escalas límites que únicamente, por comparación con aquéllos, se puede comprobar que son válidas.

Como consecuencia de la aplicación de todo lo expuesto, se ha conseguido tranquilizar la dársena grande de Motrico mediante las obras que a continuación se van a reseñar, consiguiendo pasar de su absoluta inutilidad anterior a condiciones de abrigo, que aunque no ideales, la hacen ya utilizable por el fondeo y atraque de las embarcaciones pesqueras, y fundamentalmente se espera que como consecuencia de las obras que se proponen, en el presente proyecto, el puerto de

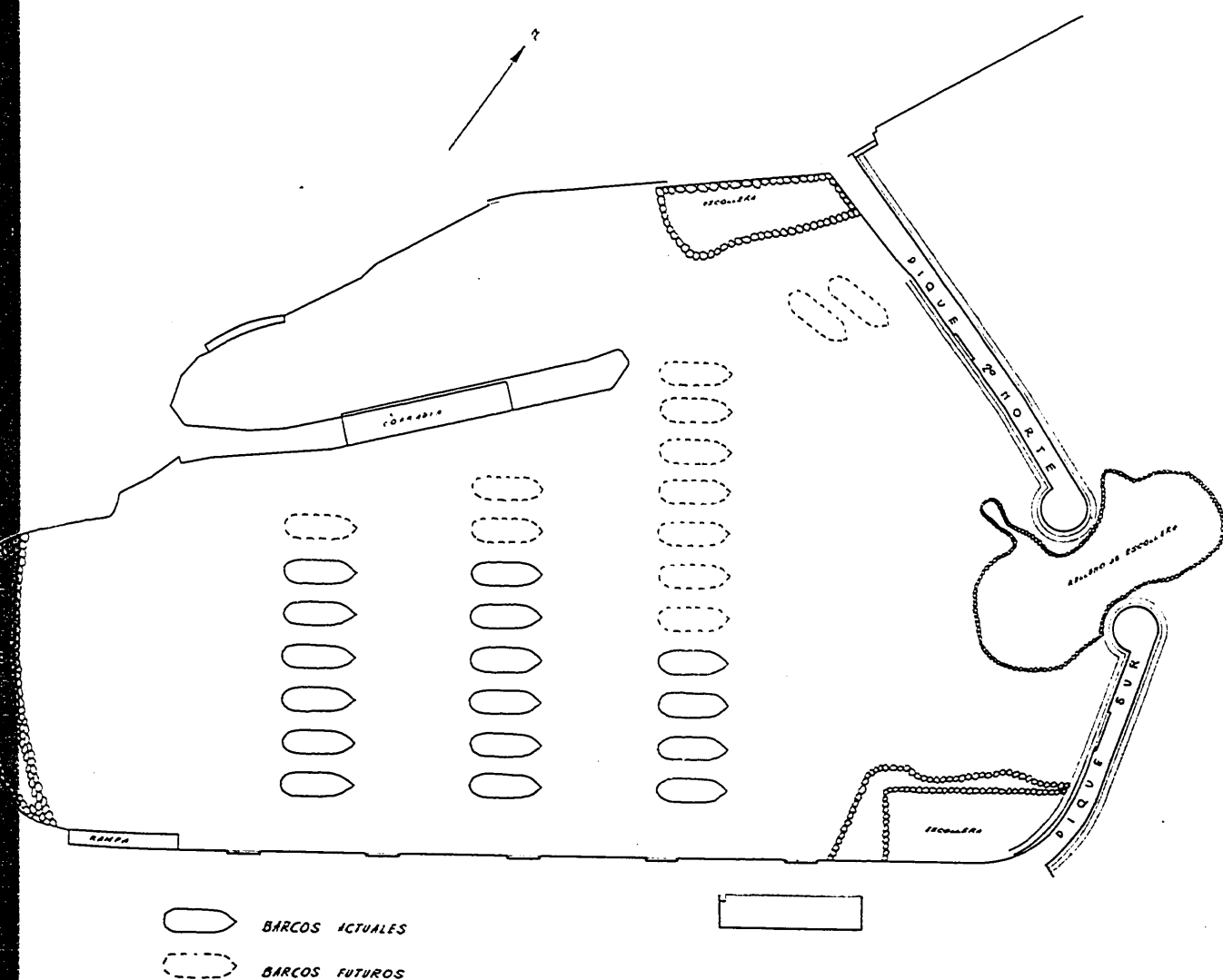


Fig. 3.ª — Puestos de fondeo actuales y futuros.

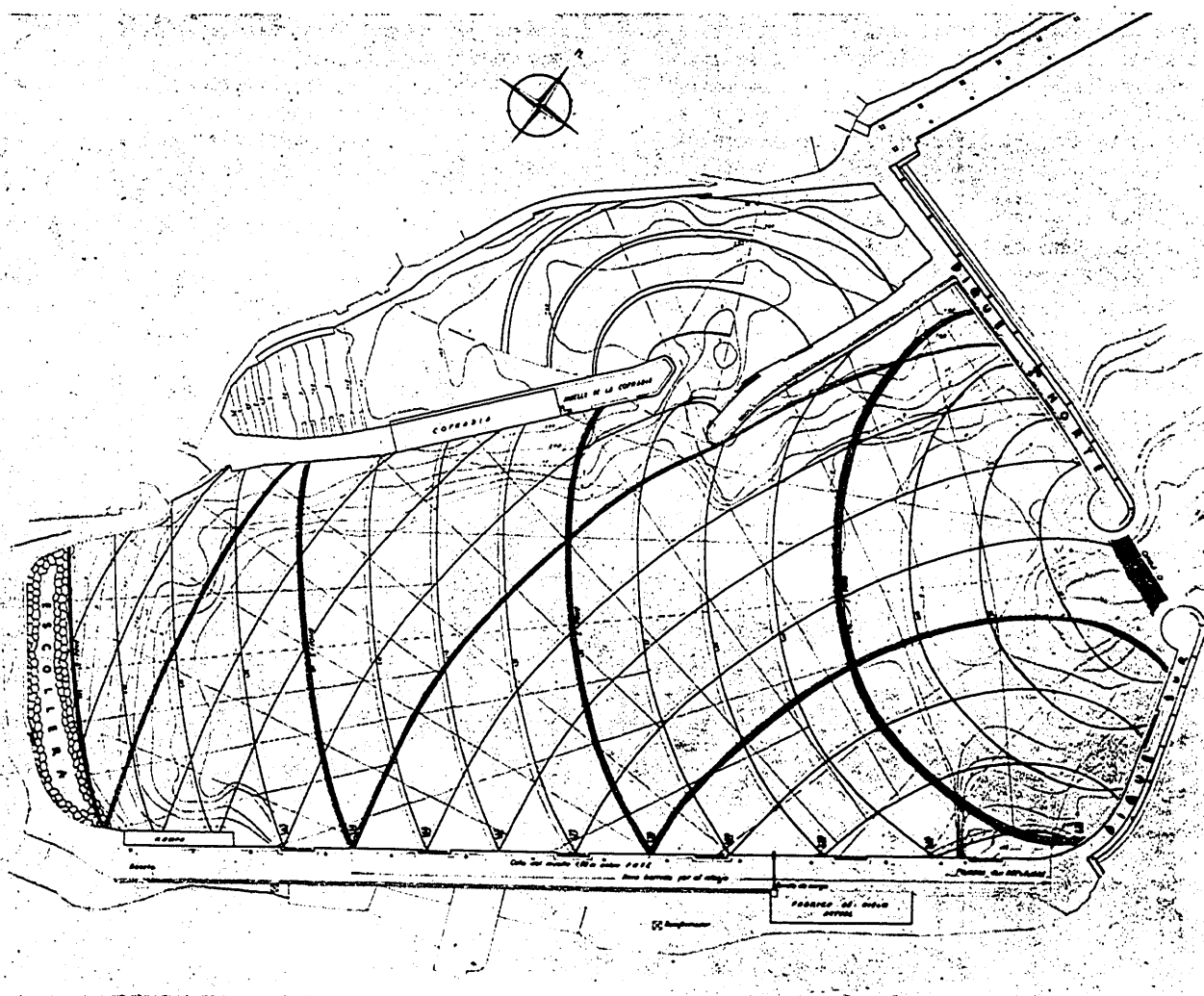


Fig. 4.^a — Plano de oleaje actual (en el interior de la dársena).

Motrico quede, al fin, en excelentes condiciones de utilización y abrigo que permitirá pasar de los 16 puestos de amarre actuales a 28 puestos de amarre, que constituye su límite de utilización total (fig. 3.^a).

Tranquilización del puerto en relación con los oleajes y sus reflexiones.

Como se ha indicado anteriormente, la tranquilización del puerto en relación con la acción de los oleajes y sus reflexiones se inició como consecuencia del primer plano de oleaje del año 1932 (fig. 1.^a), correspondiente al proyecto de la rampa rompeolas exterior a la dársena grande, consiguiéndose su eficaz tranquilización como consecuencia de la discutida rampa rompeolas interior (fig. 2.^a), correspondiente al proyecto del año 1936, cuyos primitivos planos de oleaje,

en planta, fueron trazados a base de la fórmula de Lagrange, de celeridades de onda en profundidades reducidas, y sin determinar sus alturas.

Trazados posteriormente los nuevos planos de oleaje, de acuerdo con el "Método de los Planos de Oleaje" publicado en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de enero de 1941, se representa en la figura 4.^a el correspondiente al interior de la dársena en su estado actual, y especialmente dedicado al estudio de la reflexión residual en el ángulo Sur de la misma, que es la más importante de las que quedan después de anulada la principal con la rampa interior ya construida, de acuerdo con el proyecto del año 1936.

En dicha figura 4.^a se comprueba que, de acuerdo con la observación directa, aún puede barrer el oleaje parte del muelle Sur, si coincidiese el máximo temporal posible con la pleamar viva equinoccial.

Para evitar esto, así como las sucesivas reflexio-

nes de la del ángulo Sur, se proyecta la construcción en él de la correspondiente rampa amortiguadora de escolleras.

Con la finalidad de ampliar la zona de fondeo del puerto, en la forma indicada en la figura 3.^a, se proyecta la demolición del dique antiguo, y para amortiguar la reflexión en el ángulo Norte que queda situado en el interior de la dársena así ampliada, se proyecta también la correspondiente rampa de escollera en este ángulo Norte.

El beneficioso efecto de estas obras respecto a la agitación interior, y especialmente el obtenido mediante la disminución de la reflexión en el ángulo Sur, se determina por comparación de la figura 4.^a con la figura 5.^a, en la última de las cuales se comprueba que el muelle Sur no será barrido por el oleaje.

Todos los eficaces resultados ya obtenidos mediante las obras ejecutadas y los que se obtendrán con las proyectadas actualmente, se comprueban en las fotografías del modelo reducido a escala 1/100 construido en el Laboratorio de Puertos — figuras 6.^a, 7.^a y 8.^a —, así como por las mediciones efectuadas en dicho modelo con la altura de ola en la boca correspondiente al máximo temporal de cálculo.

La correspondencia entre los resultados obtenidos en la naturaleza, los calculados por el método empleado y los del modelo, no sólo son interesantes para el pequeño puerto de Motrico, sino especialmente, con carácter general, para las aplicaciones de la técnica marítima que, a base de las observaciones y estudios reseñados, venimos desarrollando.

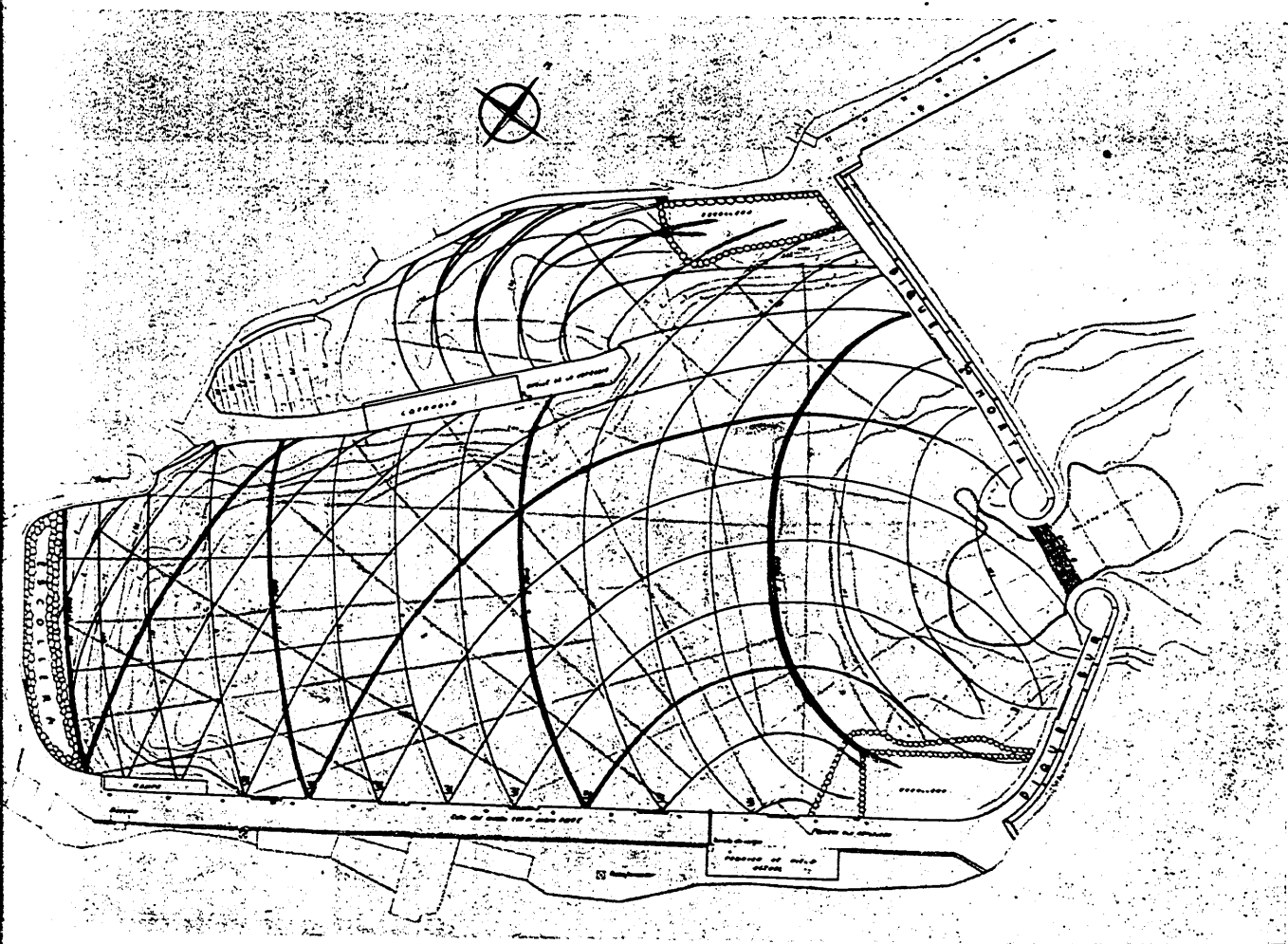


Fig. 5.^a — Plano de oleaje futuro (en el interior de la dársena).

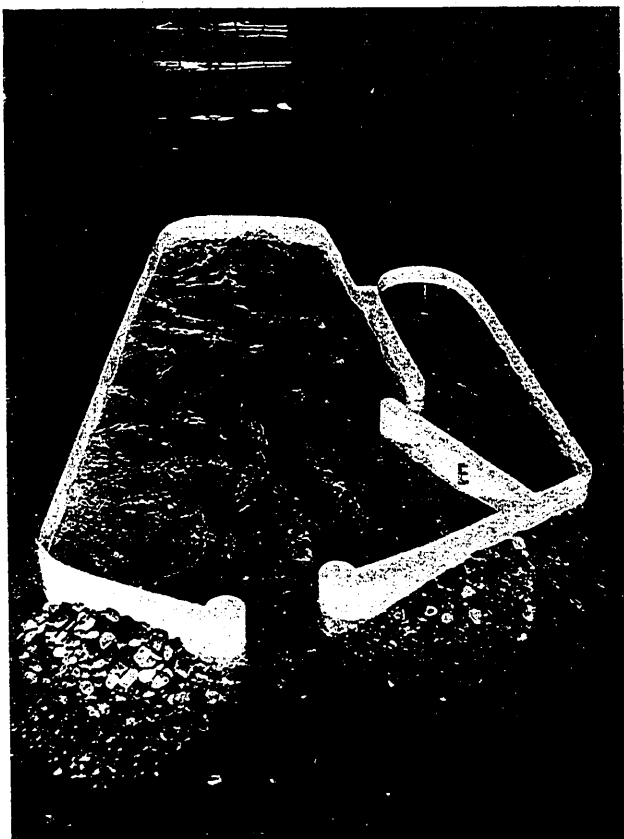


Fig. 6.ª — Puerto en su estado inicial.

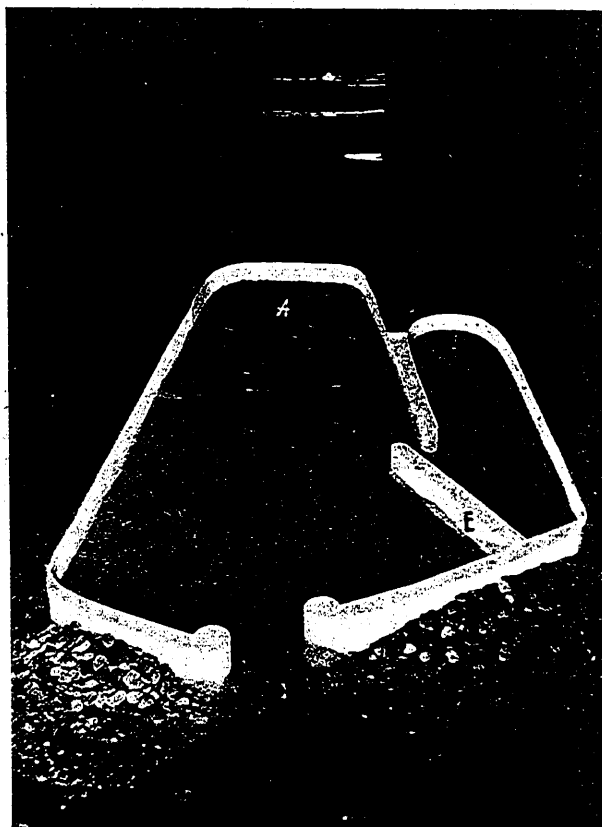


Fig. 7.ª — Puerto en su estado actual. Con la escollera A construída.

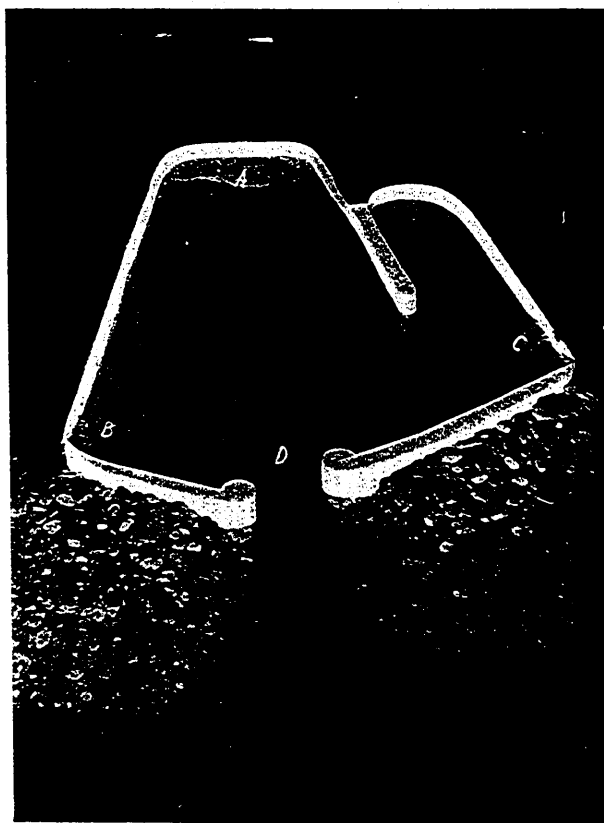


Fig. 8.ª — Puerto en su estado futuro. Con las escolleras A, B, C y D construídas y demoliendo el espigón E.

Tranquilización del puerto en relación con las resacas.

Como también se ha indicado anteriormente, la tranquilización del puerto en relación con las resacas se ha conseguido mediante el método desarrollado con posterioridad al descubrimiento de que se trata de un fenómeno de resonancia, dentro de la dársena o puerto, de las que hemos denominado de resaca.

Puede estudiarse este método en nuestro "Tratado de Obras Marítimas".

Del desarrollo de dicho método, en primera aproximación, se deduce la expresión de la más peligrosa resonancia, del cuarto de longitud de onda:

$$L_p = \frac{T_r}{2} \sqrt{g H_p},$$

en la que L_p y H_p son, respectivamente, las longitudes o distancias de la boca del puerto al extremo opuesto del mismo, y las profundidades, ambas peli-

grosas, consideradas conjuntamente por coincidir así el periodo propio del puerto con el de dicha onda de resaca, $2 T_r$.

Como en el citado Tratado se indica, dicho periodo $2 T_r$ se aproxima al de doce olas de temporal, o sea para el máximo posible en el Cantábrico de olas de dieciocho segundos de periodo, $2 T_r \approx 12 \times 18 = 216$ segundos, que corresponde, aproximadamente, con el observado en los puertos y costas guipuzcoanos. La altura de onda de resaca se aproxima a la sobre elevación de las máximas olas de dicho temporal.

Siendo $L_p = 300$ m. la longitud actual de la dársena grande de Motrico, algo disminuída por la escollera ya construída, de dicha fórmula se obtiene la profundidad peligrosa $H_p = 3,3$ m., o sea 0,3 m. sobre la bajamar viva equinoccial, en cuya bajamar la profundidad media de la dársena era de 3 m., con anterioridad al dragado.

Efectivamente, durante los fuertes temporales de mar, de oleaje próximos a los dieciocho segundos de



MODELO DEL PUERTO DE MOTRICO

CURVA DE AMPLIFICACIONES Nº 1

DETERMINACION DEL PERIODO DE RESONANCIA

PUERTO PRIMITIVO, SIN DRAGAR

$$\text{Escala } \lambda = \frac{1}{100} \text{.-Peralte constante.-Amplificaciones} = \frac{\text{Altura interior modelo}}{\text{Altura onda exterior}}$$

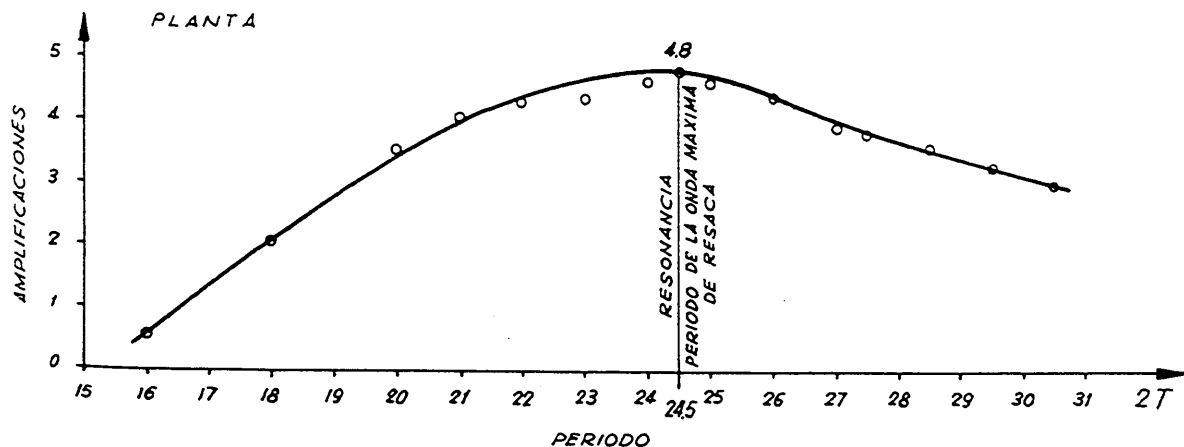


Figura 9.ª

período, se producían en Motrico las más violentas corrientes de resaca, de períodos algo superiores a los tres minutos y medio, y en estados de marea próximos a las bajamares vivas.

En atención a todo esto se redactó el año 1950 el denominado "Proyecto de dragado del puerto de Motrico", con el que, aumentando la profundidad media

como consecuencia de la ejecución de las obras que se proponen.

Al igual que en relación con los oleajes, después de conseguida también la amortiguación de las resacas en el puerto como consecuencia de la aplicación de los nuevos métodos de cálculo, se han comparado los excelentes resultados ya obtenidos en la naturaleza

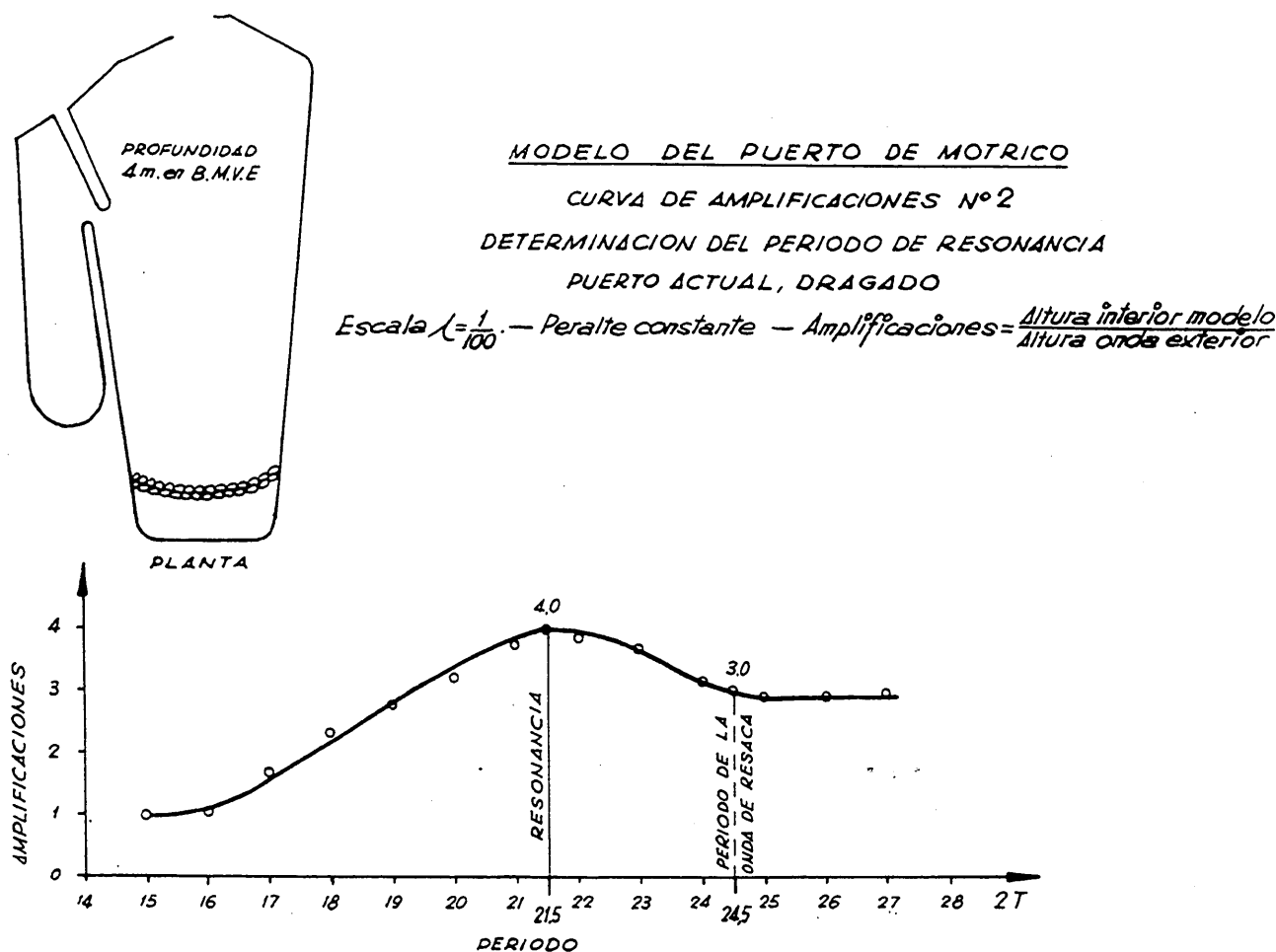


Figura 10.

de la dársena grande en un metro más, se pasó de la profundidad $H = 3$ m. en B. M. V. E. a $H = 4$ m. en el mismo estado de marea, haciendo imposible la resonancia en ningún estado de la misma, por ser siempre la profundidad francamente mayor que la peligrosa $H_p = 3,3$ m.

El resultado obtenido con la ejecución del dragado fué el previsto en su proyecto, amortiguándose muy eficazmente las oscilaciones de resacas, quedando la anteriormente inutilizable dársena en las condiciones de utilización actuales y que aún se han de mejorar

za con los del modelo a escala 1/100 del Laboratorio de Puertos, no por ser estos ensayos realmente necesarios para el puerto de Motrico ya mejorado, sino, principalmente, para determinar los límites de reducción de escalas, o de tamaños, aceptables en los modelos reducidos para que los resultados obtenidos en ellos sean aplicables a la naturaleza, especialmente en fenómenos como el de resonancia, en los que las oscilaciones de gravedad, aún amplificadas por dicha resonancia, se limitan sus amplificaciones por las fuerzas de viscosidad, por lo que, además de las leyes de Frou-

de, tienen influencia en el modelo las de Raynolds, tanto más sensibles cuanto más se disminuya la escala o tamaño del modelo, empleándose en él el mismo líquido que en la naturaleza.

Para precisar más y con carácter general esta interesante cuestión referente a la escala o tamaño inferior límite aceptablemente utilizable en los modelos reducidos, se están efectuando en el Laboratorio de Puertos ensayos de resonancias a diversas escalas o tamaños de los modelos. También se están estudiando las variaciones que en el período propio y en las amplificaciones en resonancia se originan por la forma de los puertos.

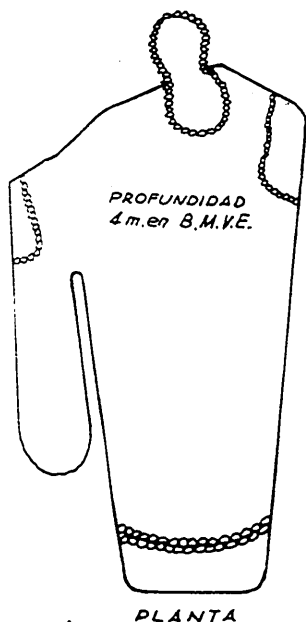
En el cuadro núm. 1 se hace el estudio comparativo de las amplificaciones y corrientes de resacas referentes al estado primitivo del puerto sin dragar, al del puerto actual dragado y al puerto futuro con las obras del presente proyecto ejecutadas.

En la primera parte del cuadro, obtenido a base de las curvas de amplificaciones, en función de los períodos (figs. 9.^a, 10 y 11), se concreta que la velo-

cidad máxima de resaca en la Naturaleza, se reduce, de 1,04 m./seg. en el estado primitivo sin dragar, a 0,56 en el puerto actual dragado y a 0,41 en el futuro, con el socavón de la boca relleno de escoleras, con todo lo cual las tracciones en las amarras de los barcos fondeados se reducen, aproximadamente,

en la relación $\left(\frac{0,41}{1,04}\right)^2 = \frac{1}{6,4}$, o sea menos de la sexta parte de las que sufrirían en el puerto primitivo. No hay que olvidar que las tracciones estáticas originadas por las corrientes, supuestos los barcos parados, son fuertemente incrementadas por las fuerzas de inercia originadas por el brusco frenado producido por las amarras en los movimientos oscilantes de dichos barcos.

Todo esto comprueba, fehacientemente, que las roturas de amarras frecuentemente originadas en el puerto sin dragar, se evitan en el puerto dragado, en el que su período propio de oscilación se ha alejado del de la onda de resaca máxima, evitándose sus peligrosas resonancias en cualquier estado de marea,



MODELO DEL PUERTO DE MOTRICO

CURVA DE AMPLIFICACIONES N°3

DETERMINACION DEL PERIODO DE RESONANCIA

PUERTO FUTURO

Escala $\lambda = \frac{L}{100}$. — Peralte constante. — Amplificaciones = $\frac{\text{Altura interior modelo}}{\text{Altura onda exterior}}$

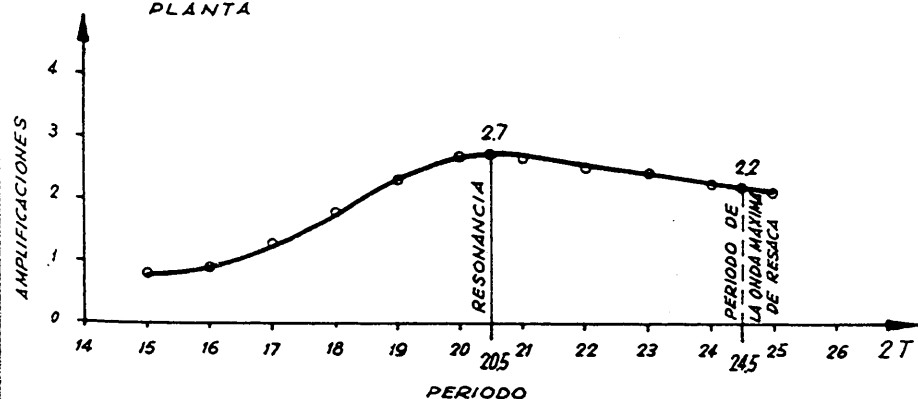


Figura II.

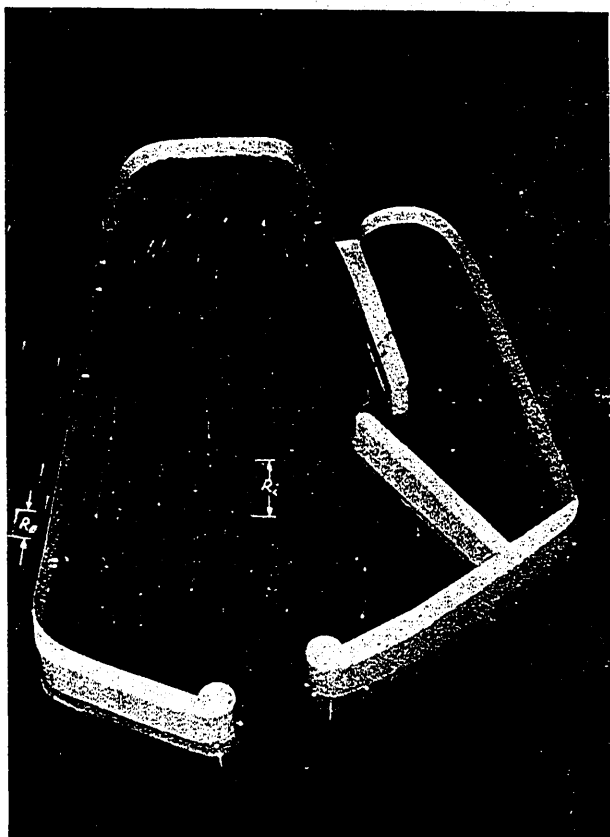


Fig. 12. — Amplitud de las resacas en el puerto antes del dragado. Período, 24,5 segundos. (Obsérvese el gran recorrido R_i en la zona de fondeo.)

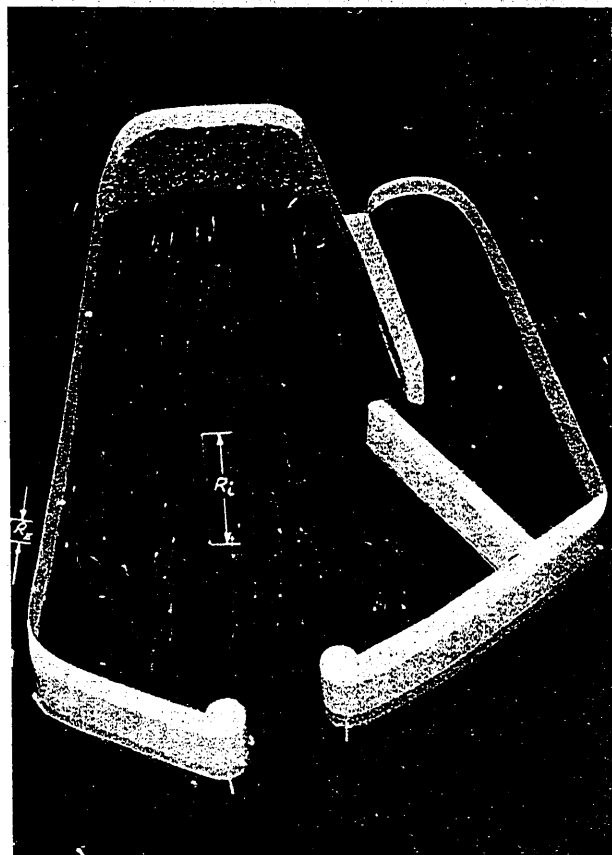


Fig. 13. — Amplitud de las resacas en el puerto después del dragado. Período, 24,5 segundos. (Obsérvese la disminución del recorrido R_i en la zona de fondeo.)

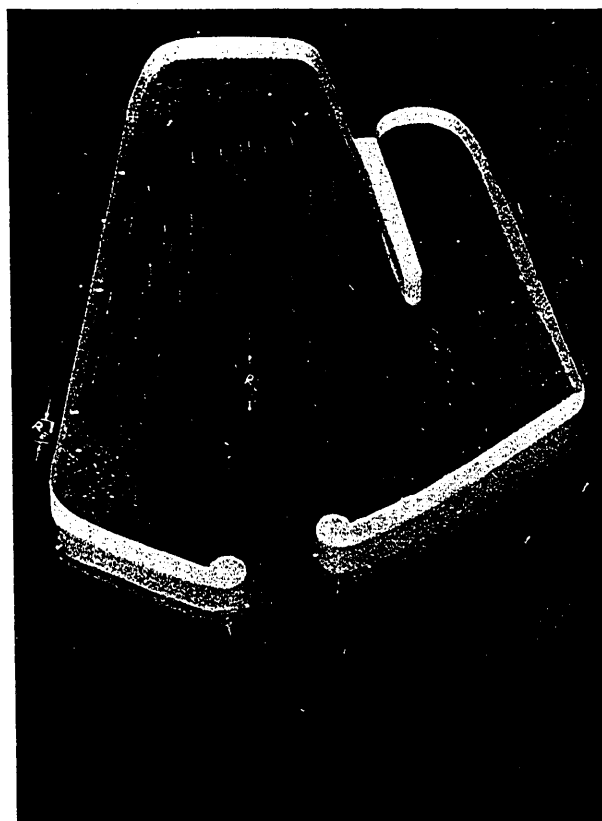


Fig. 14. — Amplitud de las resacas en el puerto en su estado futuro. Período, 24,5 segundos. (Obsérvese que el recorrido R_i es aún menor que el de la figura 13.)

CUADRO 1. — *Estudio comparativo de los diversos estados del puerto.*

	Puerto primitivo sin dragar	Puerto actual dragado	Puerto futuro
Profundidades medias: Naturaleza	3,3 m.	4,3 m.	28,6 m.
Modelo	0,033 m.	0,043 m.	0,41 m./seg.
Amplificaciones en el modelo con el período de la máxima onda de resaca: $2T_r = 24,5$ seg.	4,8	3	20,5 seg.
Recorrido horizontal en la naturaleza con el período de la máxima onda de resaca: $2T_r = 24,5$ seg.	71,4 m.	39,0 m.	172,6 seg.
Velocidad en la naturaleza con el período de la máxima onda de resaca: $2T_r = 24,5$ seg.	1,04 m./seg.	0,56 m./seg.	2,7
Períodos propios de resonancia en el modelo	24,5 seg.	21,5 seg.	14,6 m.
Períodos propios de resonancia correspondientes a la natu- raleza	216 seg.	189,5 seg.	0,26 m./seg.
<i>Comprobaciones en resonancias.</i>			
Amplificaciones en el modelo con los períodos propios de resonancia	4,8	4,0	4,3 m.
Recorrido horizontal máximo en la naturaleza con el período propio de resonancia ($2r_f$)	71,4 m.	31,0 m.	0,043 m.
Velocidad máxima en la naturaleza con el período propio de resonancia	1,04 m./seg.	0,51 m./seg.	2,2

con lo que, como se ha indicado, se reducen las tracciones a menos de la sexta parte de las primitivas.

En la parte inferior de dicho cuadro, "Comprobaciones de resonancias", efectivamente, se comprueba, siempre a base de dichas curvas de amplificaciones, que aun en resonancias del puerto dragado bajan las velocidades de 0,56 m./s., a 0,51, en el puerto actual, y de 0,41 m./s. a 0,26. en el puerto futuro, después de rellenar el socavón de la boca, con lo que las condiciones de amarre de los barcos serán aún mejores.

Todos estos ensayos se han efectuado en el modelo con peralte, o relación de altura a la longitud de onda, constante y similar al de la máxima onda de resaca en la Naturaleza, por lo que, al disminuir el período, disminuye la altura de la ola máxima en mar profundo y, consiguientemente, las sobreelevaciones o alturas de la onda de resaca.

COMPROBACIÓN FOTOGRÁFICA EN LOS MODELOS.

Estas fotografías se han obtenido con exposición de un semiperíodo y materializando las moléculas en movimiento mediante esferitas flotantes, y fuertemente iluminadas para obtener la traza de sus recorridos.

En las fotografías del modelo que constituyen las figuras 12, 13 y 14, se comprueba la disminución de los recorridos interiores correspondientes a los puertos actual y futuro, en relación con las del puerto primitivo, lo que prueba fehacientemente la eficacia

del método aplicado para amortiguar las peligrosas corrientes de resacas.

RESUMEN.

Procede hacer notar, en forma resumida, que mediante las observaciones y estudios efectuados durante numerosos años en el difícil puerto de Motrico, se han obtenido nuevos métodos de cálculo tan interesantes para la técnica marítima como los de los Planos de Oleaje, Oscilaciones de Resacas en Resonancia y numerosos más, actualmente de aplicación general.

Mediante la aplicación de estos métodos y como fehaciente comprobación de los mismos, se ha conseguido ya, en el propio puerto de Motrico, que la denominada dársena grande, que era absolutamente inutilizable y se juzgaba irremediable, sea ya utilizable actualmente para el fondeo y atraque de embarcaciones, y es seguro que cuando se ejecuten las obras complementarias propuestas en el actual proyecto, quede en excelentes condiciones de utilización para mayor número de barcos.

La pesca, que en el puerto antiguo, cuando la dársena grande no era utilizable, no llegaba a 1 100 toneladas anuales, ha alcanzado ya en el puerto actual, con la utilización de dicha dársena, 2 320 toneladas, que aumentarán, cuando se ejecuten las obras propuestas en el presente proyecto, a más de 4 200 toneladas anuales, cuyo valor rebasará los 32 000 000 de pesetas.