

EL ANTEPUERTO Y LAS AGUAS ABRIGADAS, PASADO, PRESENTE Y FUTURO

THE OUTER HARBOUR AND SHELTERED WATERS PAST PRESENT AND FUTURE

PASCUAL PERY PAREDES. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Profesor Titular de Universidad. ETSI de Caminos, Canales y Puertos. UPM.
ppery@caminos.upm.es

RESUMEN: El concepto de aguas abrigadas como elemento de refugio, ha venido desapareciendo del uso ordinario debido al perfeccionamiento de los buques, medios de navegación, etc. Sin embargo, el crecimiento de estos y las mayores dificultades de acceso a servicio técnico náutico, está resucitando la necesidad de disponer de aquellas facilidades que sin ser estrictamente comerciales fueron un apoyo básico para el desarrollo de la navegación, el comercio y la industria marítima. A otra escala se está repitiendo el proceso que acompañó a la transformación de la navegación a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. La técnica portuaria y de construcción debe buscar también soluciones compatibles con la economía y el medio ambiente para resolver los nuevos retos.

PALABRAS CLAVE: ANTEPUERTO, AGUA ABRIGADA, DIQUE DISCONTINUO

ABSTRACT: The concept of sheltered waters as an element of protection no longer tends to prevail due to the perfection of vessels, navigation aids, etc. However, the growing size of ships and the greater difficulties in accessing harbour services, is reviving the need to provide these facilities which, while not strictly commercial, provided essential support for the development of navigation, commerce and shipping. We are currently seeing a repeat of the process which accompanied the transformation of shipping at the end of the 19th century and the beginning of the 20th century. Harbour technique and construction should seek solutions which are compatible with the economy and the environment in order to solve these new challenges.

KEYWORDS: OUTER HARBOUR, SHELTERED WATER, DISCONTINUOUS BREAKWATER

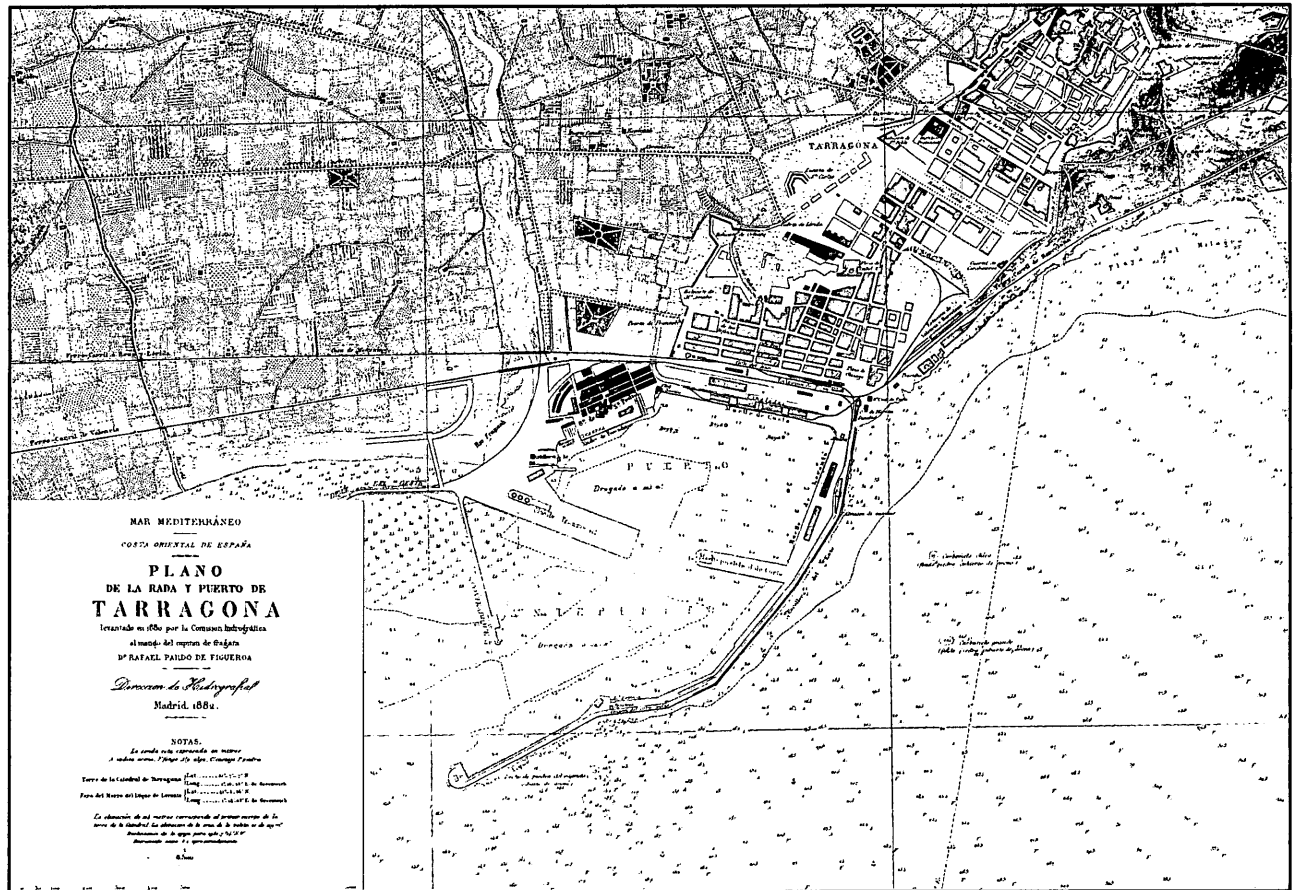
En el desarrollo de la actividad humana hay materias que son recurrentes, situaciones que parecían superadas se vuelven a plantear y para mejor analizar y resolver problemas que se nos presentan como nuevos, echar un vistazo al pasado puede ser una fuente de información muy importante. Uno de ellos es el concepto que tenemos y el uso que podemos hacer de las aguas abrigadas.

Por supuesto que el ideal es el que el abrigo de un puerto sea total en cualquier circunstancia meteorológica. Eso nos permite disponer de obras de atraque e instalaciones de

Throughout the course of human activity there are recurring questions. Situations, which were thought to have been overcome, arise once more and in order to study and solve these newly appearing problems, it can be extremely beneficial to refer to the past. This is well the case with the concept we have and the use we can make of sheltered waters.

The ideal situation would obviously be the total shelter of a harbour under any weather conditions. This would allow mooring, unloading and loading operations throughout the

Figura 1.
Puerto de
Tarragona/
Figure 1.
Harbour of
Tarragona.



carga y descarga operativas los 365 días al año. Pero en el tránsito desde mar abierto hasta el puesto de atraque, el buque pasa por una serie de estadios intermedios, durante los cuales debe recibir el apoyo de servicios como el practica-je, remolque y amarre, puede que tenga que fondear, etc., en una palabra que el buque, al tener que reducir su velocidad, no dispondrá de la totalidad de su capacidad de maniobra y por tanto de control.

Esta circunstancia se hace más notoria, cuando mayor es el buque. Efectivamente un buque pequeño, cuyo radio de evolución y su distancia de parada también son pequeños, puede entrar y maniobrar con más facilidad que un gran buque, cuyos radios de maniobra y distancias de paradas se midan en kilómetros, sin tener en cuenta el efecto que el viento o las corrientes puede tener sobre la gran obra muerta y obra viva del buque.

Por otra parte un buque de gran porte, puede recibir el auxilio de los servicios náuticos del puerto en unas condiciones de mar más desfavorables que los pequeños, y está en condiciones de crear un redoso para facilitar las maniobras de la embarcación de apoyo, siempre y cuando el mismo no esté sometido a grandes movimientos.

Si pensamos en los diseños portuarios de la época de la vela, nos encontramos con una situación muy parecida, el

entire 365 days of the year. However, in the passage from open sea to a mooring, a vessel has to pass through a number of intermediate stages, during which she may receive the assistance of services such as pilotage, towing and moorage, or it might be necessary to anchor, etc. In these instances a vessel has to reduce speed and loses total manoeuvring capacity and, subsequently, control.

The larger the vessel, the more evident this circumstance becomes. A smaller boat with a similarly smaller turning circle and stopping distance may enter and manoeuvre with far greater ease than a larger vessel, whose turning circles and stopping distances are measured in kilometres rather than metres. This, without taking into account the possible effect of wind or current on the huge upper works and quickwork of the vessel.

However, a large ship may receive the assistance of harbour services under far more unfavourable sea conditions than a smaller vessel, and it has the capacity to offer leeward protection to aid the manoeuvre of support vessels, providing that this is not subject to large movement.

When we refer to harbour designs in the days of sailboats, we find a very similar situation. The boat

buque necesitaba entrar en unas aguas, si no del todo abrigadas, sí en mejores condiciones de agitación que en mar abierto, donde fuera más fácil maniobrar para tomar el fondeo, o en su caso recibir los auxilios necesarios para llegar al destino final en el puerto.

Hoy día volvemos a necesitarlas, y como caso práctico podemos observar el uso que de la ría de Ares hacen los grandes petroleros que allí recalcan con destino a la refinería de la Coruña.

Las ensenadas y bahías naturales, Santander, Santoña, Rías Gallegas, Cádiz, Algeciras, Cartagena o Los Alfaques, los senos amplios como Málaga, Almería, Alicante o Valencia, redosos de las islas como La Luz, Santa Cruz de Tenerife o Palma de Mallorca, y de cabos como la Estaca de Bares, Cabo Torres o Higuera nos dan claramente la imagen de esas aguas que podríamos llamar semiabrigadas, que tan gran papel han jugado en la historia de la navegación.

Por no inventar una palabra nueva, es el concepto del "antepuerto", que podemos encontrar en los planos anti-

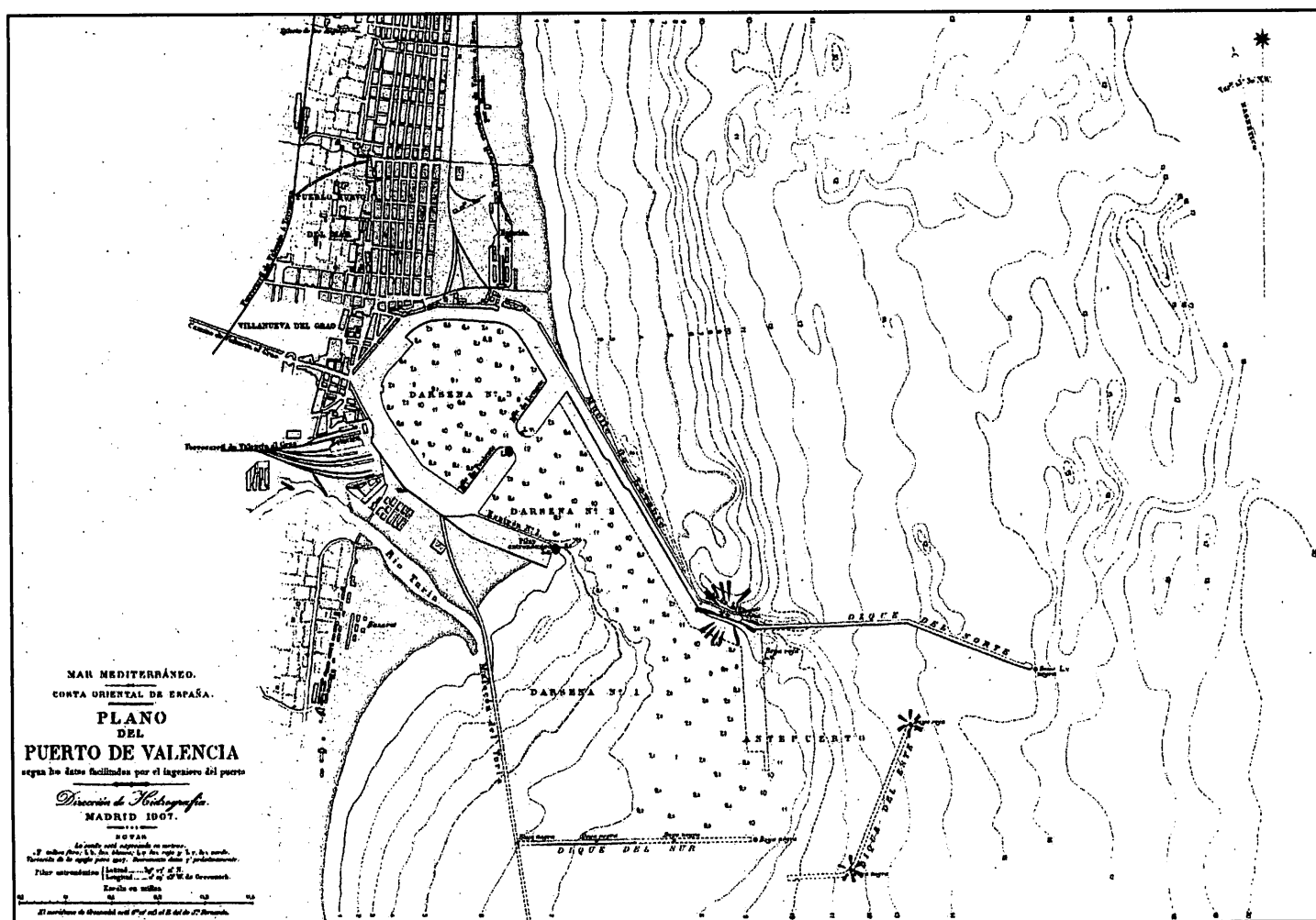
needed to enter waters which, while not totally sheltered, offered calmer conditions than the open sea and where it was easier to anchor or, if need be, receive the necessary assistance in order to reach their final mooring point within the harbour.

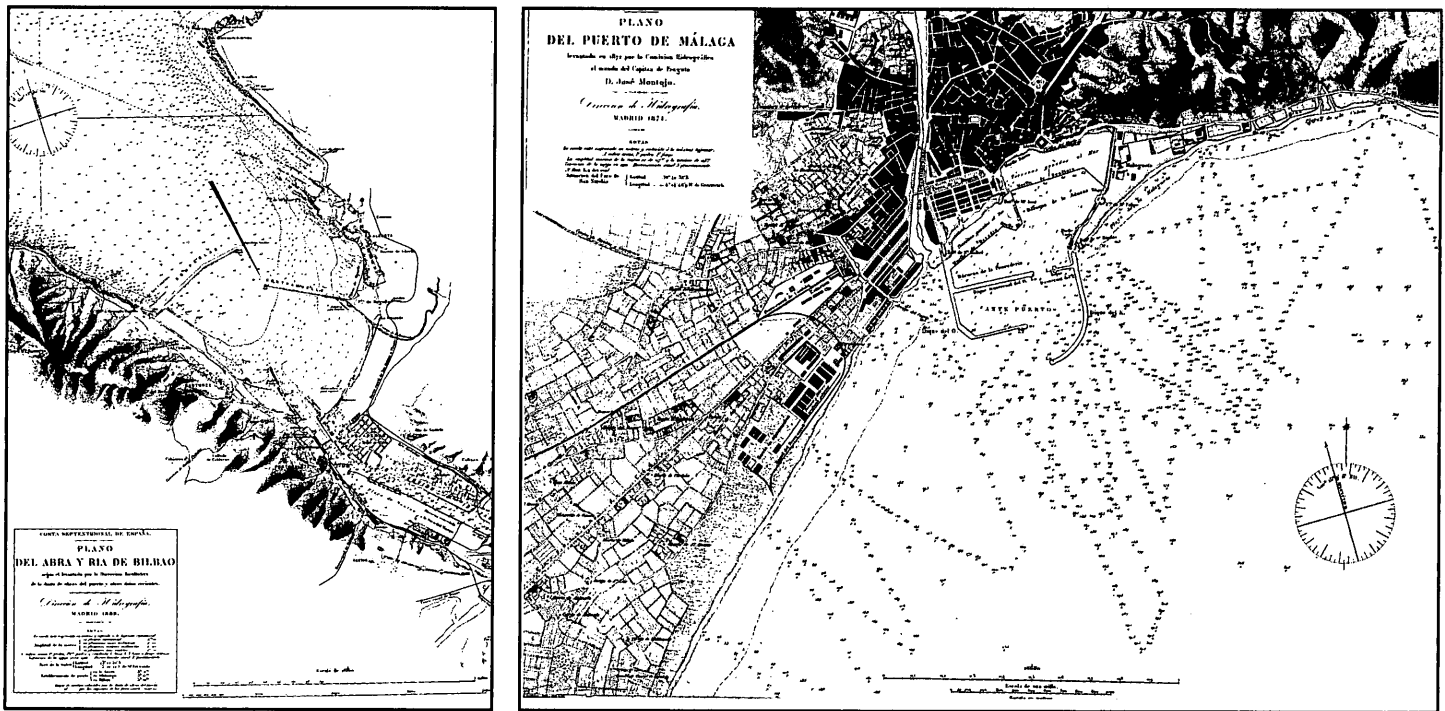
Today we still need this protection and by way of a practical example we may refer to the use of the Ría Ares by large oil tankers who stand there when bound for the Coruña oil refinery.

The natural bays of Santander, Santoña, Rías Gallegas, Cadiz, Algeciras, Cartagena or Los Alfaques, the broad gulfs of Málaga, Almería, Alicante or Valencia, the island inlets such as La Luz, Santa Cruz de Tenerife or Palma de Majorca and the capes of Estaca de Bares, Cabo Torres or Higuera conjure up a clear image of these semi-sheltered waters which have played such an important role in the history of shipping.

The concept of the "outer harbour", to use its original name, may be found in old plans of harbour

Figura 2.
Puerto de
Valencia/
Figure 2.
Harbour of
Valencia.





Figuras 3 y 4.
Puertos de
Bilbao y
Málaga/
Figures 3 and
4. Harbours
of Bilbao and
Malaga.

guos de las obras de abrigo, cuando la maniobra del buque y la operación de carga y descarga eran dos cosas completamente separadas, y la primera era de la mayor importancia.

Si observamos los trazados de las obras portuarias acometidas a principios del siglo XX o incluso a finales del XIX, al amparo del impulso del desarrollo portuario de las recién creadas "Juntas de Obras del Puerto", vemos que todos ellos responden a este concepto de abrigar agua, quedando en segundo término las obras de atraque, que no siempre se utilizaban, porque aún era frecuente el barqueo.

Sin embargo fue una época de gran avance en la técnica portuaria tanto de proyectos y construcción de obras marítimas como en la de crear la infraestructura funcional de conexión de los sistemas modernos de transporte, como podemos aún ver en a gran densidad de vías de ferrocarril de que disponían los muelles, proyectados en la primera mitad del siglo XX.

El desarrollo portuario de los años posteriores se centra, en la inmensa mayoría de los casos, en comerse este espacio de agua, pensado para el fondeo y la maniobra de buques, con nuevas obras de atraque que llegan a colmar las dársenas, como puede comprobarse en Pasajes, Bilbao, Coruña, Cádiz, Alicante, Valencia, Tarragona o Barcelona, por poner algunos ejemplos. Solamente en las grandes bahías o estuarios quedan áreas útiles para este fin.

Las nuevas ampliaciones de diques de finales del siglo XX, se enfocan más a abrigar un agua que permita simultáneamente la construcción rápida de muelles de mayor cala-

works, where the manoeuvring of vessels and loading and unloading operations were completely separated and where this former was of prime importance.

If we observe the layouts of harbour works carried out at the beginning of the 20th century or even those towards the end of the 19th, during the harbour development work carried out under the auspices of the recently created "Harbour Work Boards", we may see that all of these correspond to the concept of sheltered water, where mooring was of secondary importance, and was not always used as it was still common to employ ferry services.

However, this was a period of great advances in harbour technique both in terms of design and construction of harbour works as well as in the creation of functional infrastructure for the inter-communication of modern systems of transport. This can still be seen today by the high density of railways tracks around the quays to ports designed in the first half of the 20th century.

Harbour development in following years was, in the vast majority of cases, focussed on reclaiming this water area which had originally been allocated for the anchoring and manoeuvring of vessels, and building new berthing areas which began to fill the harbour basin. This development can be readily seen at the ports of Pasajes, Bilbao, Coruña, Cadiz, Alicante, Valencia, Tarragona or Barcelona, by way of example and only the large bays or estuaries retained operative areas for anchor and manoeuvre.

do y mayor superficie de almacenamiento. Necesidad esta que viene exigida por el aumento de tamaño de los buques y sobre todo del volumen de las mercancías y su rapidez de manipulación. Son los casos de las últimas ampliaciones de Gijón, Ferrol, Málaga, Valencia, Castellón o Barcelona. Es la reacción rápida ante una necesidad y no el resultado de una estrategia de largo alcance.

Estas nuevas ampliaciones acaban con las últimas reservas de aguas semiabrigadas en calados del entorno de los 15 m o incluso superiores.

Nos basta pasar vista a las cartas y portulanos para comprobar la existencia de áreas de agua llamémosle "semiabrigada", de estos calados de 15 m en Bilbao, Santander, Gijón, por supuesto las rías Gallegas, Cádiz, Algeciras y en general todos los puertos del Mediterráneo y en las islas, al redoso de las mismas, abrigadas de los vientos dominantes, Norte, NW y NE en Baleares, y los Alisios en Canarias. Podemos decir que es un bien abundante.

Ahora bien, si repetimos el análisis para unos mayores calados, los necesarios para buques de 20 a 22 m, el panorama cambia drásticamente. Echemos un vistazo a nuestro litoral y nos encontramos con una situación tal que no disponemos de tanta agua "semiabrigada" con calados del orden de 20/30 m en la que actuar fácilmente.

Si observamos las costas del Cantábrico, vemos que las zonas en las que la costa nos produce una cierta disminución del oleaje, por refracción y pérdidas de energía en su propagación son las que tienen una orientación NW-SE ya que en las otras las orientadas al NW la incidencia es prácticamente normal a la misma.

Nos debemos ceñir pues a considerar los tramos comprendidos entre:

Zumaya y Cabo de Machichaco, El Abra de Bilbao y Cabo de Ajo, Gijón a Cabo de Peñas y Foz a la Estaca de Bares, si queremos beneficiarnos de algún abrigo natural.

Pero recorriendo la batimetría - 30 m vemos que solamente en el Abra de Bilbao, Santoña, Santander, Gijón, San Ciprian, y las Rías de Vivero y el Barquero, ésta se encuentra a una distancia de la tierra que permite una actuación del hombre que mejore el abrigo de una superficie apreciable. Un segundo análisis teniendo en cuenta la accesibilidad terrestre quizá nos reduzca los puntos útiles a los puertos de Bilbao, Santander y Gijón.

En estos puertos, el buque podría encontrar esas aguas no tan batidas, que les permitan una aproximación a su destino sin sobresaltos, en cualquier circunstancia de mar.

Examinando la Costa Gallega, y repitiendo el proceso anterior, descubrimos, que solamente la Ría de Ares con el abrigo del cabo Prioriño, reúne alguna condición para esos grandes calados, pero no el resto de la Costa de la Muerte, que además es muy "sucía", con grandes cambios puntuales de calados, bajos, agujas, etc., que producen peraltes locales del oleaje muy perceptibles y peligrosos.

The new extensions to breakwaters at the end of the 20th century were built to shelter the harbour while simultaneously allowing the rapid construction of docks of deeper draught and greater storage area. This arose as a result of the increasing size of vessels and the larger ensuing volume of goods transported and the need for greater handling speed. This is the case of the latest port enlargements at Gijon, Ferrol, Malaga, Valencia, Castellon or Barcelona. This is an immediate response to a particular need and is not the result of a long term and wide-ranging strategy.

These new enlargements have exhausted the last reserves of semi-sheltered waters of draughts of around 15 m or even greater.

It is only necessary to consult the charts and portolans in order to verify the presence of "semi-sheltered" waters of these depths in Bilbao, Santander, Gijon, the Rias Gallegas, Cadiz, Algeciras. This also applies to all Mediterranean ports in general and the islands within the fetch of the same, sheltered from the north, north-westerly and north-easterly winds in the case of the Balearics and from the Trade Winds in the case of the Canary Islands. We may then say that this is a rather abundant asset in this country.

However, if we repeat the analysis for waters of greater depth, and those necessary for ship draughts of 20 to 22m, the panorama then changes drastically. If we examine the Spanish coastline we may see that there is very little semi-sheltered water with draughts of around 20/30m in which a vessel may easily operate.

When referring to the Cantabrian coast, one may note that the coast produces a certain reduction in swell due to refraction and losses of energy in propagation in those areas with a NW-SE aspect, while in those areas facing NE the effect is practically at right angles to the same.

We should then focus our attention on the shorelines between Zumaya and Cabo de Machichaco, Abra de Bilbao and Cabo de Ajo, Gijon to Cabo de Peñas and Foz to Estaca de Bares, if we wish to take advantage of some sort of natural shelter.

However, if we extend the draught to 30m, we find that only Abra de Bilbao, Santoña, Santander, Gijon, San Ciprian, the Rias de Vivero and Barquero have this kind of depths within a suitable distance from shore to enable works to improve the shelter of a sizeable area. When taking into account the accessibility of these areas, these coastal points may then be reduced, in the second instance, to the ports of Bilbao, Santander and Gijon.

At these ports a vessel will find calmer waters which allow safe approach under all sea conditions.

When examining the coast of Galicia and repeating the process indicated above, we find that only the Ría de Ares, sheltered by the promontory of Cabo Prioriño, meets the

Igualmente deducimos que las Rías de Muros y Noya, Arosa, Pontevedra y Vigo son magníficos puertos de recalada y en menor medida la de Corcubión.

Si pasamos al Golfo de Cádiz, ningún puerto de los actuales reúne condiciones para ese gran salto en la escala de los calados. Todos quedan lejos del veril de 30 m, si bien las condiciones meteorológicas no son tan adversas como en el Cantábrico. Pero el mantenimiento de canales dragados en mar abierto pueden provocar un régimen de oleaje dentro de los mismos no deseado, además de modificar sensiblemente el régimen de corrientes debidas a la marea, sin contar con los costes de mantenimiento.

La situación cambia a partir del Cabo Trafalgar, donde en la Ensenada de Barbate y sobre todo en la Bahía de Algeciras existen estos grandes calados cerca de la línea de costa.

Recorriendo la costa sur del Mediterráneo español, lo que podemos llamar el Estrecho de Gibraltar, que técnicamente discurre entre las líneas Cádiz-Casablanca y Cartagena-Argel, podemos comprobar que en Málaga y sobre todo en la Bahía de Almería se producen estas condiciones que estamos buscando, pero no en el resto del tramo.

La costa del Cabo de Gata hasta Mazarrón presenta algún punto idóneo al abrigo de la Punta de la Polacra, de La Mesa de Roldán, o la isla de San Andrés, que alberga al puerto de Carboneras.

Pero no es hasta Cartagena, entre Cabo Tiñoso y la Isla de Escombreras que encontramos una rada natural que nos da ese "preabrigo" que nos facilitará tal establecimiento de un puerto realmente de "aguas profundas".

Siguiendo hacia el Norte, las Bahías de Santa Pola y Alicante y Valencia que tan buenas condiciones tienen para calados de 12 a 15 m son muy aplaceradas por lo que para conseguir los grandes calados que demanda el futuro, es necesario alejarse mucho de la costa, exigiendo por tanto mayores longitudes de diques.

Las costas de Cataluña, se encuentran abrigadas de los vientos del N. (Tramontanas) y los "fetchs" desde Italia o Baleares les hace tener unos regímenes de oleaje relativamente benignos durante muchos días del año.

Si continuamos con el método de análisis seguido hasta aquí, vemos que los puntos donde se sitúan los puertos de Tarragona y Barcelona son las zonas de batimetrías más favorables a nuestro interés, aunque quizá Barcelona haya buscado hacia el Delta del Llobregat lo que tenía muy a mano en el tramo del dique de abrigo donde hoy se abre una boca "auxiliar". Los deltas por la presencia de grandes cantidades de sedimentos no son buenos vecinos de los puertos.

Nos damos cuenta pues, que la extensa costa peninsular española, que actualmente mantiene 22 Autoridades Portuarias, no es tan generosa ni está tan bien repartida cuando buscamos pasar al nivel de los 30 metros. Bilbao, Santander, Gijón, Ares, las Rías Bajas, Algeciras, Almería, Carta-

conditions necessary for these larger draughts. However, the rest of the Costa de la Muerte is largely fouled and has abrupt changes in underwater terrain with shallows and rises, etc, which cause very perceptible and dangerous local surf.

The Rias de Muros and Noya, Arosa, Pontevedra and Vigo also provide excellent ports of call as, to a lesser degree, does the port of Corcubion.

When heading down to the Gulf of Cadiz, we find that none of the current ports meet the conditions for this huge increase in draught. All the ports in this area have draughts way below this 30m benchmark, though the weather conditions in these areas are far more benign than that of the Cantabrian coast. However, the practice of employing dredged channels in open sea can also lead to undesirable wave action within the same as well as noticeably changing the system of tidal currents, not to mention the cost of maintenance work.

The situation changes as from Cabo Trafalgar, and large draughts may be found close to the shoreline at the Barbate Inlet and, particularly, at the Bay of Algeciras.

Along the southern coast of the Mediterranean and what we may refer to as the Strait of Gibraltar, which technically runs between the axes of Cadiz-Gibraltar and Cartagena-Algiers, only Malaga and, in particular, the Bay of Almeria meet the desired conditions.

The coast of Cabo de Gata up to Mazzaron reveals certain suitable locations such as the lee of the Punta de Polacra, La Mesa de Roldán or the island of San Andres, which houses the port of Carboneras.

However we have to travel up to Cartagena, and between the cape of Cabo Tiñoso and the island of Escombreras, in order to find a natural roadstead which provides outer shelter and which would allow the establishment of a truly deep water port.

When continuing northwards, the bays of Santa Pola, Alicante and Valencia all provide excellent conditions for draughts of between 12 and 15 m, but are too shelved to allow the huge draughts that will be demanded in the future, without going very far offshore and, thereby, requiring the construction of longer breakwaters.

The coast of Catalonia are sheltered from the northerly (tramontana) winds and the fetches from Italy or the Balearics and this allows a relatively benign surf throughout the greater part of the year.

If we continue with the method of analysis followed up to now, we may see that the areas of the ports of Tarragona and Barcelona offer the best depths in this regard. However, the Port of Barcelona has sought to expand towards the Llobregat Delta when it could have resorted to the stretch of breakwater which now houses the "auxiliary" harbour mouth. Deltas are not particularly good neighbours of harbours due to the presence of large amounts of sediment.

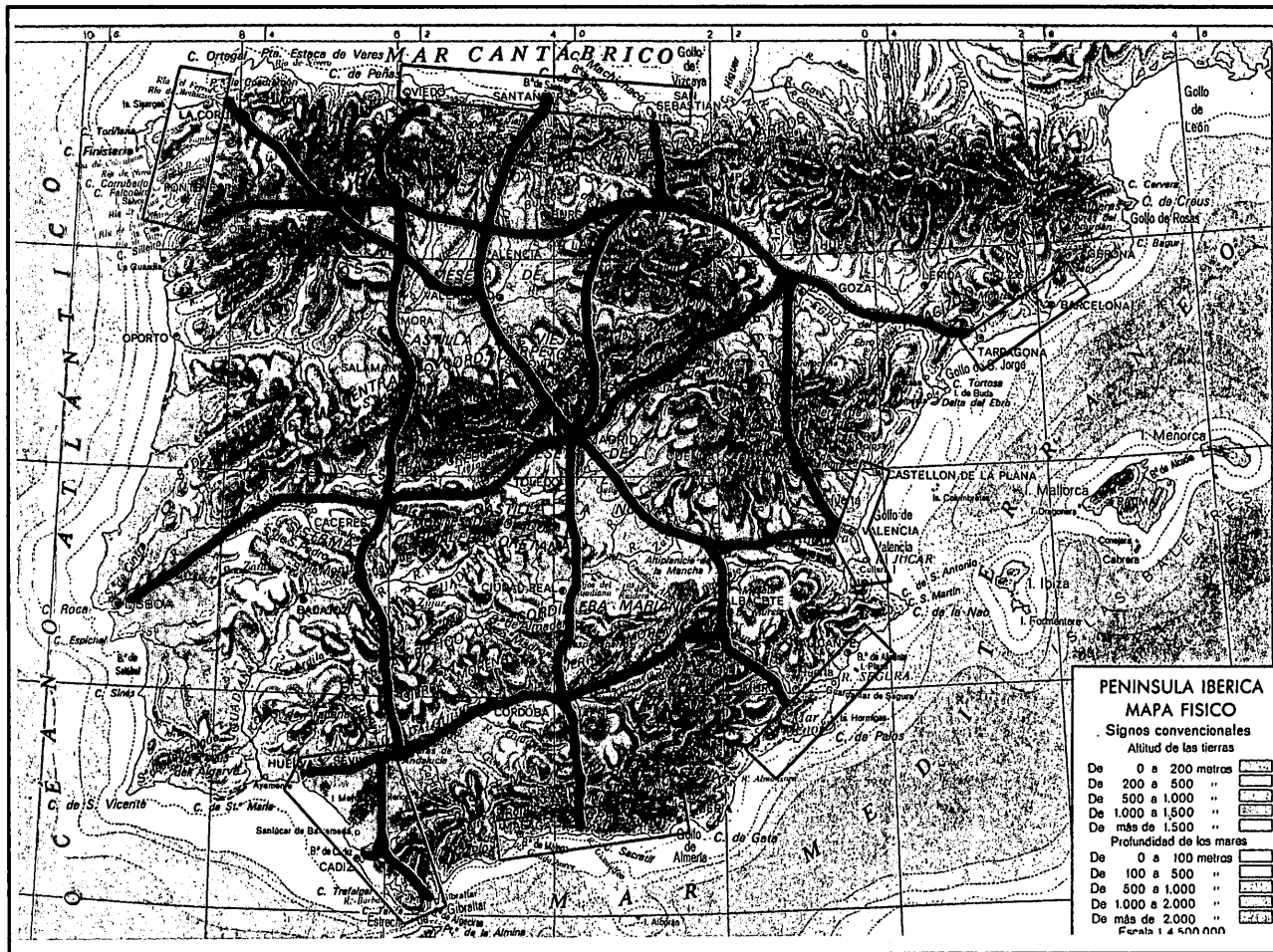


Figura 5.
Red de comunicaciones terrestres /
Figure 5.
System of communications earthlys.

gena, Alicante, Valencia, Tarragona y Barcelona forman el inventario de situación de puntos de posible gran calado, que si los aplicamos al concepto de fachadas marítimas, se nos quedan reducidos a 3 en el Cantábrico, 2 en Galicia, 2 en el Estrecho y 3 ó 4 en el Este Mediterráneo, que por otra parte nos proporciona un sistema portuario para tráficos excepcionales de gran accesibilidad en todas las fachadas marítimas.

El mapa orográfico de la península, nos muestra que una red de comunicaciones terrestres, ya no tan centralizada, queda perfectamente servida por puertos situados en las fachadas antes citadas.

Cuando sea necesario atender las nuevas generaciones de buques en el rango de los 20 metros de calado nos encontramos que las zonas con estos fondos no tienen ese abrigo parcial que los hacen tan útiles, y que siempre han determinado la existencia y el desarrollo de los puertos.

Paremos ahora a analizar la tipología de las obras marítimas, que han complementado el abrigo natural de los puertos.

Las obras de abrigo llamadas convencionales, diques rompeolas y en menor medida los diques verticales, exigen

We may then see that the vast Spanish peninsular coastline, which currently falls under 22 Port Authorities, is not so generous or so well distributed when attempting to seek deep water of 30 m plus. Bilbao, Santander, Gijon, Ares the Rias Bajas, Algeciras, Almeria, Cartagena, Alicante, Valencia, Tarragona and Barcelona form the main list of possible points of large draught and if we apply the concept of sea frontages we are then limited to 3 on the Cantabrian coast, 2 in Galicia, 2 on the Strait and 3 or 4 in the East Mediterranean. However, this does provide a highly accessible harbour system for large scale traffic over all the sea frontages.

The land terrain of the peninsular has largely dictated our system of communications. These are no longer quite so centralized and perfectly serve the ports situated on the said coastlines.

On the advent of this new generation of ships of 20 metre plus draughts, we find that the available areas with these depths no longer have the partial shelter which has served them so well to date and which has always determined the presence and development of harbours.

grandes volúmenes de materiales, que en un montón de casos no son utilizados en su totalidad, con los efectos que sobre el medio ambiente tienen las grandes explotaciones de cantera, el transporte y vertido de escombreras, núcleos y rellenos, etc.

Por otra parte las grandes alturas de las estructuras, transmiten al terreno unas cargas que no se alcanzaban cuando los calados eran menores.

Reducir volumen de materiales y producir cargas menores sobre el terreno, son puntos que pueden ampliar el área de aplicación de técnicas que ahora están más limitadas. Se pueden resolver disponiendo una estructura formada por cajones fondeados, rellenos solo de agua o parcialmente lastrados, hasta obtener un deseado equilibrio entre el peso y la superficie de apoyo, para garantizar la estabilidad al deslizamiento y al vuelco.

Naturalmente esta disposición de menor densidad obligará a mayores dimensiones transversales (manga del cajón) lo que contribuirá a aumentar el coeficiente de seguridad al vuelco, y a una mayor superficie de apoyo, que mejora el de deslizamiento.

Otro punto crítico de las obras de cajones es el fondeo de las mismas, que exige una gran precisión en su preparación y ejecución, así como más condiciones muy estrictas de mar y viento, pero que se simplifica mucho si cada uno de ellos es un elemento independiente sin estar en contacto con sus colindantes.

Este dique discontinuo funciona como una estructura porosa de las que ya se va teniendo experiencia, en grandes profundidades.

Partiendo de una disposición lineal, con intervalos entre elementos de $1/10$ a $1/12$ de las longitudes de los cajones, se puede obtener un coeficiente de transmisión inferior a 0,2 que nos daría el abrigo deseado, incluso en el caso de incidencia normal del oleaje. Este coeficiente mejoraría, si por el trazado en planta del dique discontinuo, en algunos de sus tramos la incidencia es oblicua. No sería razonable un solapamiento de los elementos, ya que conduciría a un aumento de longitud, incompatible con la economía que pretende obtenerse.

La gran masa de agua del interior de la dársena, que en un dique convencional quedaría unida con el mar abierto solo por la bocana del puerto, se comunicaría por una serie de aberturas, que reducen, si no eliminan totalmente, los problemas de renovación de las aguas, especialmente en los mares sin mareas.

El uso de cajones sin el relleno completo, relleno por otra parte difícil de realizar, puesto que habría que hacerlo por medios a flote, obliga a fabricarlos con una manga mayor, lo que eleva el metacentro, pudiéndose botar cajones más altos para los mismos calados que los convencionales.

Las unidades de obra se reducen a los cajones y a un enrase del fondo natural, o de la escombrera de apoyo, con

We shall now take a pause to examine the type of sea works which have supplemented the natural shelter of harbours.

Conventional coastal structures such as rubble breakwaters and, to a lesser extent, composite/vertical breakwaters, require large volumes of material, which in the vast majority of cases are not employed in their entirety, with ensuing negative effects on the environment due to the large amount of quarrying, transport and dumping of rubble, cores and backfills, etc.

Furthermore, the large height of these structures transfer stresses down to the ground which would not be reached under lower draughts.

The reduction in volume of materials and ensuing loads, are aspects which would enable the increased application of techniques which are currently more restricted. This may be resolved by means of a structure formed by sunk caissons filled only with water or partially ballasted in order to obtain optimum equilibrium between the weight and bearing surface to guarantee stability against sliding and overturning.

This lower density arrangement obviously requires greater cross-sectional dimensions (caisson breadth) which serves to increase the safety factor against overturning and provide a greater support area which diminishes sliding.

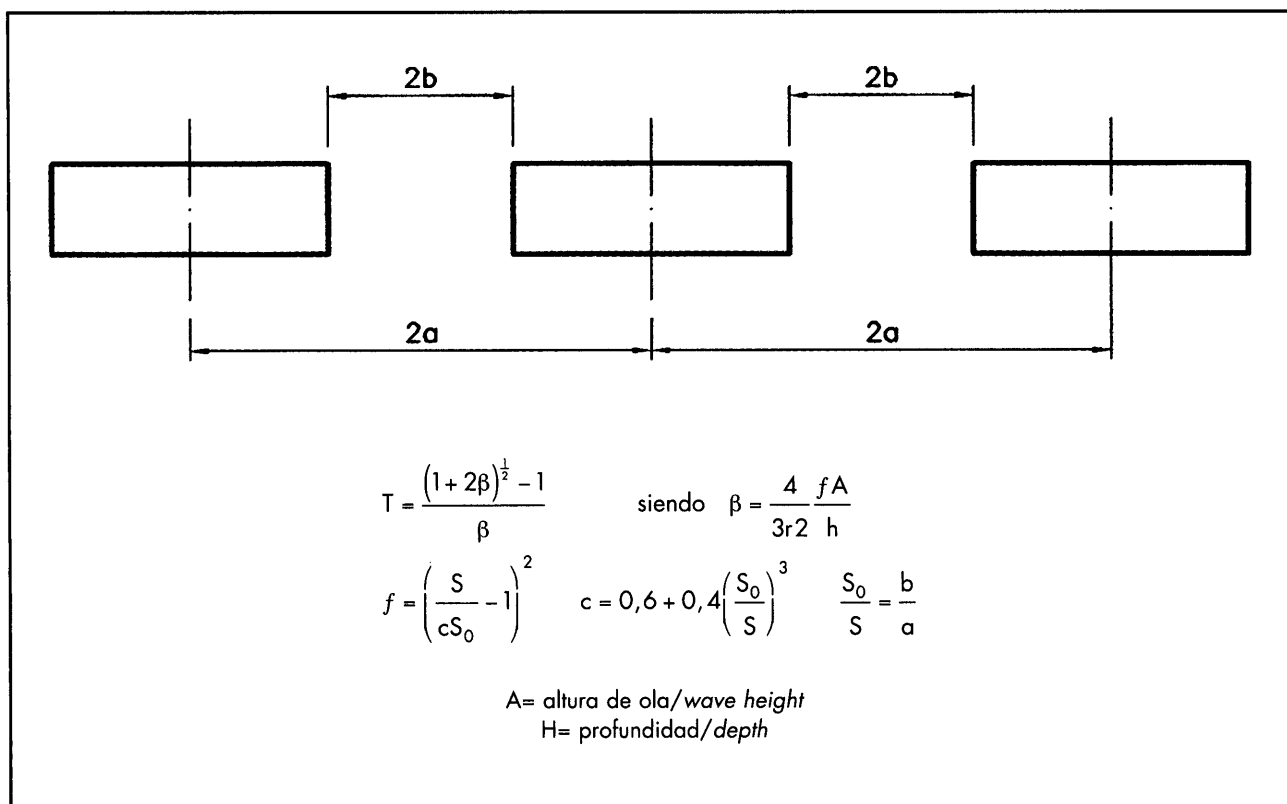
The sinking of these caissons requires great precision in both preparation and execution and poses a further critical aspect together with the very strict sea and wind conditions. Though this may be very much simplified if each caisson acts as an independent element without contact with its neighbouring units.

The discontinuous breakwater acts as a porous structure and experience is already being gained on this type of structure at large depths.

When taking a lineal arrangement, the caissons are separated by gaps of between $1/10$ and $1/12$ the caisson length which provides a transfer ratio of less than 0.2 and, thereby, providing the desired shelter even in the case of surf striking at right angles. This ratio will further improve when there is an oblique angle of incidence along certain sections of the discontinuous breakwater. It is not advisable to overlap the caissons as this would only increase the total length and offset any intended savings.

The huge mass of water inside the basin, which in a conventional breakwater is only connected to the open sea by means of the harbour mouth, then flows freely through a series of openings which substantially reduces, though not totally eliminating, the problems of stagnant water particularly in non-tidal seas.

The use of caissons without complete infill this fill being very difficult to achieve as it requires doing so by waterborne means makes it necessary to construct caissons of greater breadth which then raises the metacentre and may well lead to the sinking of caissons which are higher than conventional types for the same draughts.

Figura 6/
Figure 6.

menos exigencias que hasta ahora, puesto que la precisión en el fondeo es menor y la gran superficie de apoyo del cajón no exige un asiento inicial tan completo y perfecto. Este se puede completar con inyecciones de arena o incluso de hormigón por conductos previstos en el propio cajón.

El enrase será suficiente con el obtenido mediante un cabezal de cutter que desplace las escolleras fuera del perfil de proyecto, u otro elemento mecánico, tornillo de Arquímedes, deeper, etc., pero sin necesidad de regularización con escollera de menor tamaño y trabajos de buzo, como es habitual en este tipo de obras.

La presencia de discontinuidades de proyecto en el dique no exige tanta precisión en el fondeo de los cajones, ya que se llevaría a cabo con independencia el uno del otro.

A continuación exponemos unos cálculos que acotan los órdenes de magnitud tanto de la agitación residual como de la estabilidad del elemento de abrigo.

Como una primera apreciación que nos centre el problema, podemos aplicar las fórmulas de cálculo del coeficiente de transmisión a través de un dique discontinuo de Hayasi et al. 1966 (The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Mei, cap. 6.1)

En la tabla N° 1 y N° 2 podemos ver los resultados del cálculo del coeficiente de transmisión para profundidades de 20 a 26 m, alturas de ola de 7, 8 y 9 m y aberturas de 5 y 6 m es decir 1/10 y 1/12 de los 60 m del tramo ciego,

The structure is limited to the caissons resting on a levelled bed or low rubble mound, with less demanding conditions than previously required, as the precision regarding for sinking is lower and the large bearing surface of the caisson does not require such perfect and complete initial settlement. This may then be supplemented by sand or even concrete injections through prepared openings in the caisson.

The levelling works need only consist of using a cutter head which spreads the rubble around the design profile, or some other mechanical element such as a screw or digger, etc, but without the need to perfect the same by the use of finer rubble or diving work, as is usual practice in this type of work.

The spacing between the caissons means that these do not have to be sunk with such great precision as they can all be set in place individually and independent of each other.

There now follows a number of calculations regarding the order of magnitude of both wave agitation as well as the stability of the structure.

By way of introduction to the problem we may apply the calculation formulas for transfer coefficient in the discontinuous breakwater by Haysai et al. 1966 (The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Mei, chap 6.1).

Table 1 and 2 show the calculated results of the transfer coefficient for depths between 20 and 26 m, and wave heights of 7, 8 and 9 m and with openings of 5 and 6 m, that is to say 1/12 and 1/10 of the 60 m span caissons

TABLA 1/TABLE 1

Ancho cajón/ Caisson breadth	2a	2b	S/So	c	f
60	66	6	11	0,6003	300,126
f = 300,13					
h (m)	A (m)	β	T	A' (m)	
20	7	44,58	0,191	1,33	
	8	50,95	0,179	1,44	
	9	57,32	0,170	1,53	
22	7	40,53	0,199	1,39	
	8	46,32	0,187	1,50	
	9	52,11	0,178	1,60	
23	7	38,77	0,203	1,42	
	8	44,31	0,191	1,53	
	9	49,84	0,181	1,63	
24	7	37,15	0,207	1,45	
	8	42,46	0,195	1,56	
	9	47,77	0,185	1,66	
26	7	34,29	0,214	1,50	
	8	39,19	0,202	1,61	
	9	44,09	0,192	1,72	

TABLA 2/TABLE 2

Ancho cajón/ Caisson breadth	2a	2b	S/So	c	f
60	65	5	13	0,6002	426,839
f = 426,84					
h (m)	A (m)	β	T	A' (m)	
20	7	63,40	0,163	1,14	
	8	72,46	0,153	1,22	
	9	81,52	0,145	1,30	
22	7	57,64	0,170	1,19	
	8	65,88	0,160	1,28	
	9	74,11	0,151	1,36	
23	7	55,13	0,173	1,21	
	8	63,01	0,163	1,30	
	9	70,89	0,154	1,39	
24	7	52,84	0,177	1,24	
	8	60,39	0,166	1,33	
	9	67,93	0,157	1,42	
26	7	48,77	0,183	1,28	
	8	55,74	0,172	1,38	
	9	62,71	0,163	1,47	

TABLA 3/TABLE 3

OBRAS DE ATRAQUE DE CAJONES EN ESPAÑA. MOPU. DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS (1988)
CAISSON COASTAL STRUCTURES IN SPAIN, MINISTRY OF PUBLIC WORKS. PORT AND COAST DEPARTMENT (1988)

	Vol. Hormigón Vol. Concrete	Vol. Celdas Vol. Cells	Vol. Total Total Vol.	%	Ubicación. Descripción del dique Location. Description of structure
1	53.277	47.663	10.940	0,528	Pasajes. Muelle Ancho, Molinao, Capuchinos y Petroleos
2	15.731	35.609	51.340	0,306	Pasajes. Muelle de Lezo
3	25.199	82.363	107.562	0,234	Pasajes. Muelle de Buenavista
4	14.392	29.364	43.756	0,329	Bilbao. Muelle adosado al dique de Santurce
5	27.730	56.735	84.465	0,328	Bilbao. Muelle Princesa de España
6	46.642	99.832	146.474	0,318	Bilbao. Muelle de Vizcaya (Norte y Este)
7	22.918	48.441	71.359	0,321	Bilbao. Testero del espigón
8	42.686	141.025	183.711	0,232	Bilbao. Atraque para grandes petroleros
9	8.069	23.373	31.442	0,257	Bilbao. Atraque para productos petrolíferos refinados
10	18.749	74.409	93.158	0,201	Santander. Muelle Rafael Martínez y Gabriel Huidobro
11	8.525	19.571	28.096	0,303	Santander. Muelle de Jesús González
12	48.111	126.945	175.056	0,275	Santander. Muelle Raos
13	30.175	69.304	99.479	0,303	Gijón. Muelle de los Pórticos
14	3.699	10.536	14.235	0,260	Gijón. Espigón II. Alineación sur. 2º tramo
15	11.262	34.342	45.604	0,247	Gijón. Muelle Moliner
16	29.134	77.435	106.569	0,273	Gijón. Muelle de la Osa
17	11.695	31.124	42.819	0,273	Gijón. Muelle Norte
18	12.283	32.913	45.196	0,272	Gijón. Espigón. Alineaciones sur y este
19	51.694	207.142	258.836	0,200	Gijón. Muelle de minerales
20	4.281	8.900	13.181	0,325	Avilés. Muelle Este. Tramo 2. (Ensidesa)
21	5.891	13.666	19.557	0,301	Avilés. Muelle Este. Tramo 3. (Ensidesa)
22	14.670	37.321	51.991	0,282	San Ciprián. Atraque principal
23	3.648	9.774	13.422	0,272	San Ciprián. Atraque auxiliar
24	13.827	32.295	46.122	0,300	El Ferrol. Nuevo muelle
25	9.845	21.134	30.979	0,318	Pontevedra / Marín. Muelle comercial
26	28.500	115.646	144.146	0,198	Vigo. Muelle de Guixar
27	42.967	85.109	128.076	0,335	Santa Cruz de Tenerife. Dique-Muelle de los Llanos 3º y 4º
28	3.541	9.032	12.573	0,282	Santa Cruz de Tenerife. Dique muelle interior
29	25.328	69.499	94.827	0,267	Santa Cruz de Tenerife. Dique. Muelle del este 3ª alineación
30	4.714	13.125	17.839	0,264	La Luz y Las Palmas. Prolongación del muelle EN-2
31	26.022	74.611	100.633	0,259	La Luz y Las Palmas. Contradique interior EN-3
32	5.411	13.611	19.052	0,286	La Luz y Las Palmas. Atraque de supertanques
33	56.009	165.786	221.795	0,253	La Luz y Las Palmas. Muelle adosado al dique Reina Sofía
Total	711.392	1.917.095	2.628.487	0,270	

longitud que se puede alcanzar en este momento, en la construcción de cajones en dique específico, sin recurrir a sistemas extraordinarios.

En ninguna de ellas la altura de ola en el interior del recinto alcanzan los 2 m, estando alrededor de 1'5 m, agitación perfectamente aceptable para el fin que se persigue.

De la publicación "Obras de atraque de cajones en España" (D.G. de Puertos y Costas 1.988) podemos sacar el dato de que la proporción media del volumen de hormigón en este tipo de estructuras es de 27% con un máximo algo superior al 33%, precisamente en el dique de Sta. Cruz de Tenerife. Tomamos pues una proporción media de 0,3 para nuestros tanteos.

Esto quiere decir que la densidad seca media de un dique formado por cajones fondeados podría oscilar entre

$$\delta_1 = 0,3 \times 2,4 + 0,7 \times 1,8 = 0,72 + 1,26 = 1,98 \approx 2 \text{ Tn/m}^3$$

y

$$\delta_3 = 0,3 \times 2,4 + 0,7 \times 1,0 = 0,72 + 0,70 = 1,42 \approx 1,40 \text{ Tn/m}^3$$

Considerando las celdas rellenas de material granular de densidad aparente de 1,8, en el primer caso o de celdas llenas de agua en el segundo.

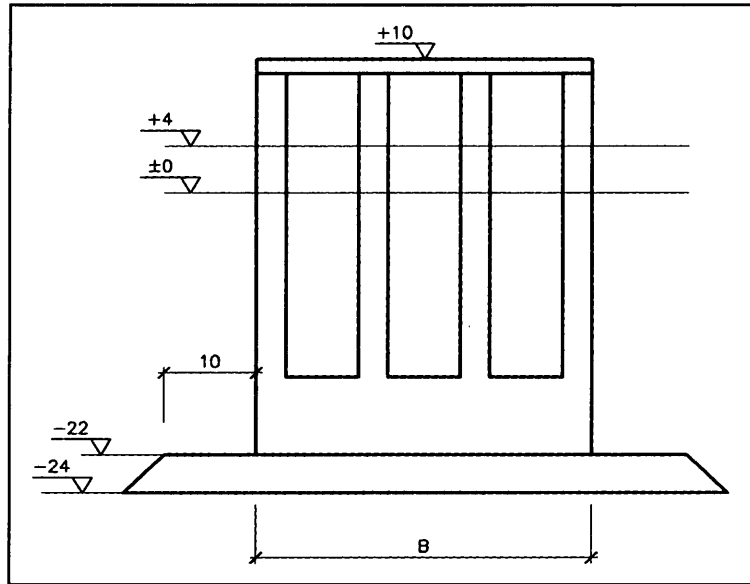


Figura 7/ Figure 7.

which can currently be built today without requiring exceptional construction systems.

The wave height within the basin does not exceed 2m in any of these cases and is established at around 1.5 m, this movement being perfectly acceptable for the intended aims.

The publication "Caisson coastal structures in Spain" (edited by the Spanish Port and Coast Department in 1988) provides information regarding the average concrete ratio in this type of structure, this being 27% and with a maximum of just over

33% which was found in the Santa Cruz de Tenerife breakwater. We may then take an average of 0.3 for the purposes of our calculations.

This means to say that the average dry density of a sunk caisson breakwater may range between:

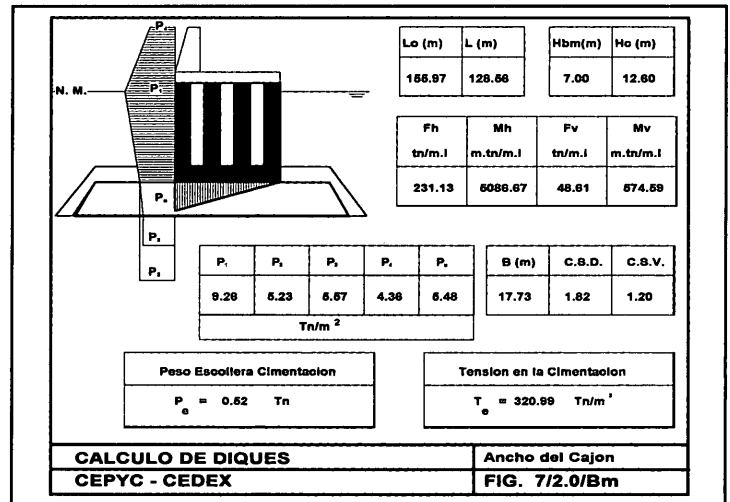
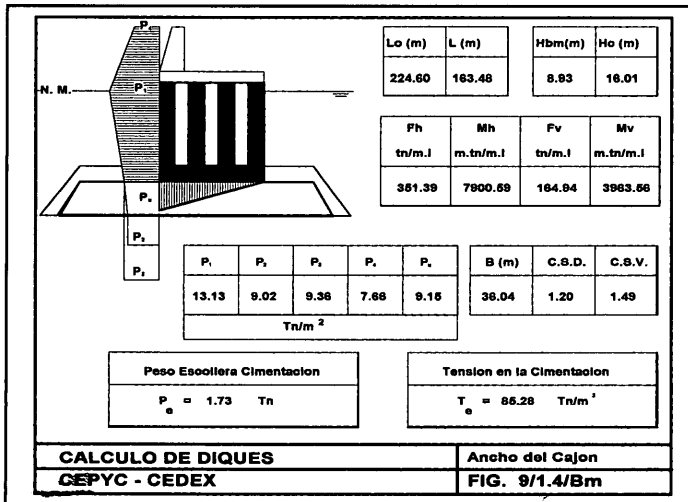
$$\delta_1 = 0,3 \times 2,4 + 0,7 \times 1,8 = 0,72 + 1,26 = 1,98 \approx 2 \text{ Tn/m}^3$$

y

$$\delta_3 = 0,3 \times 2,4 + 0,7 \times 1,0 = 0,72 + 0,70 = 1,42 \approx 1,40 \text{ Tn/m}^3$$

When considering that the cells are filled with a granular material of 1.8 apparent density in the first case and by water in the second.

Figura 8/ Figure 8.



Un relleno parcial de material granular u hormigón pobre nos daría una densidad intermedia de $\delta_2 = 1,70$ Tn/m³ que también se considerará.

Estas tres densidades serán las hipótesis que tomaremos en los tanteos de dimensionamiento de un cajón tipo cuya sección es la de la figura 7.

Utilizando el programa de cálculo de diques verticales desarrollado por el CEPYC (CEDEX) basados en las fórmulas de Goda, obtenemos los siguientes resultados para diques de la sección de la figura, densidades 2, 1.7 y 1.4 Tn/m³ alturas de ola de 7, 8 y 9 m. asociados a períodos de 10, 11, y 12 sg. carrera de marea de 4 m. y coeficientes de seguridad de 1,2 tanto de deslizamiento como al vuelco.

Es importante observar que las tensiones máximas sobre el terreno que en los casos más convenciona-

les, densidad 2, alcanzan valores de (290 – 280) en pleamar y (320 – 311) Tn/m² en Bajamar se reducen a una magnitud entre el 50 y el 25% (146 – 63) y (177 – 85) Tn/m², lo que permitiría apoyarlo en terreno con una capacidad portante menor sin necesidad de sustitución del mismo, evitando los dragados y rellenos con los problemas económicos y ambientales que esas variedades de obra conllevan. Vemos que en cualquiera de los casos el dique será abordable con los medios de construcción disponibles actualmente, ya que existen cajoneros que permiten fabricar de hasta 68 m de eslora y 45 m de manga. Estas dimensiones son las que hemos tomado como tipo para simplificar la ejecución de las obras, reduciendo el número de elementos a fondear, lo que también nos permite aumentar el tamaño del hueco entre dos elementos.

TABLA 4/TABLE 4

	h/T	B	CSD	CSV	T _e	
$\delta=2,0$	7/10	19,25	1,86	1,20	290	PLEAMAR HIGH TIDE (+4,00 m)
	8/11	22,11	1,66	1,20	285	
	9/12	25,03	1,50	1,20	280	
$\delta=1,7$	7/10	22,34	1,61	1,20	218	
	8/9	25,82	1,44	1,20	213	
	9/12	29,44	1,29	1,20	209	
$\delta=1,4$	7/10	27,67	1,32	1,20	146	
	8/11	33,21	1,20	1,26	114	
	9/12	42,95	1,20	1,57	63	
$\delta=2,0$	7/10	17,73	1,82	1,20	320	7/2 Bm***
	8/11	20,35	1,62	1,20	316	
	9/12	22,87	1,47	1,20	311	
$\delta=1,7$	7/10	20,25	1,60	1,20	249	BAJAMAR LOW TIDE (0,00 m)
	8/11	23,36	1,42	1,20	244	
	9/12	26,40	1,29	1,20	239	
$\delta=1,4$	7/10	24,30	1,35	1,20	177	9/12 Bm***
	8/11	28,41	1,20	1,21	165	
	9/12	36,04	1,20	1,49	85	

h = altura de ola significativa (m)/Significant wave height

B = ancho del cajón (m)/breadth of caisson

T = periodo segundos/period in seconds

CSD = coeficiente de seguridad al deslizamiento/Factor of safety against sliding

CSV = coeficiente de seguridad al vuelco/Factor of safety against overturning

T_e = tensión en la cimentación (Tn/m²)/Foundation stress

A partial fill of granular material or lean concrete would give us a mean density of $\rho = 1.70$ Tn/m³ which may also be taken into account.

These three densities shall then serve as the hypotheses to be taken in the dimension estimates of a standard caisson with the section shown in the figure below.

By employing the calculation programme of vertical breakwaters developed by CEPYC (CEDEX) based on Goda formulas, we then obtain the following results for breakwater of the section shown in the figure: Densities of 2, 1.7 and 1.4 Tn/m³; Wave heights of 7, 8 and 9 m associated with 10, 11 and 12 second periods; a 4 m tidal range and safety factors of 1.2 for both sliding and overturning.

It is of note that in the more conventional cases and with densities of 2, the maximum ground stress ranges

between 290 and 280 Tn/m² at high tide and between 320 and 311 Tn/m² at low tide, and that this is substantially reduced under the lower density by between 50% and 25% (146-63 Tn/m² at high tide and 177-85 Tn/m² at low tide). This then enables the structure to rest on a bed with a lower bearing capacity without the need to replace the same and, thereby, avoiding dredging and filling works with all the economic and environmental problems that this entails.

We may see that in all cases the construction of the breakwater can be tackled by using currently available means, as there are slip forms which enable the manufacture of caissons of up to 68 m long and 45 m wide. These being the dimensions taken in order to simplify construction and reduce the number of elements to be sunk and also to enable a larger spacing between caisson units.

Tomando como dato de partida una manga de 35 m, con el relleno completo el dique soportaría olas de hasta 12 m de altura significativa y en el caso de 45 m de manga esta altura de ola sería de 14 m

La técnica actual permite abordar olas de estas características, de ejecución más simple que las actuales y que más que crear una infraestructura de uso inmediato, nos transforme la morfología de un tramo de costa, creando unas condiciones nuevas que permiten el desarrollo continuo de los puertos del futuro.

También afectan al equilibrio de la costa, pero no de manera puntual, sino a lo largo de un tramo amplio, reduciendo la energía que incide sobre ella, y además no es razonable que se generalice a cualquier puerto del litoral sino solo a unos pocos que serán los funcionalmente operativos.

Puede pues utilizarse también como elemento estabilizador en áreas de gran desequilibrio entre erosión y aportaciones, desgraciadamente muy frecuente hoy día.

Es pues una operación de ordenación del territorio para el futuro, análoga a los grandes programas de regulación de los ríos y por tanto un esfuerzo común del país o si acaso del sistema portuario en su conjunto pero en ningún caso de un puerto concreto.

Evidentemente el proceso exige un plan estratégico, no en el sentido limitado de puerto por puerto, presididos por una supuesta competencia interportuaria, sino en sentido amplio, donde el flujo de mercancías, las conexiones de los diversos medios de transporte y las áreas de producción y consumo formen un conjunto armónico.

No debe suponer una globalización total del sistema portuario español, pero la necesidad de concentrar actuaciones del tipo propuesto nos debe reforzar el concepto de fachada marítima, que hemos visto como cristaliza cuando se analiza el sistema combinado de transportes.

La construcción de nuevas áreas portuarias viene a reforzar esa necesidad de gestión común que se siente y comienza tímidamente a plasmarse en organismos conjuntos, comunidad a comunidad, basados en consideraciones más políticas que técnicas.

Estamos pues en una encrucijada técnica, política y de gestión.

¿Es el momento de poner las bases de los puertos de finales del siglo XXI como lo fueron en 1900 los de los puertos del siglo XX? ■

A 35 m wide caisson breakwater with complete infill will be capable of withstanding waves with significant heights of up to 12 m, while a 45 m wide caisson may withstand waves of up to 14 m.

The technology available today provides protection against waves of these characteristics and significantly simplifies construction when compared to currently employed models. This not only enables the construction of an infrastructure of immediate use but also transforms the form of a coastline and creates new conditions enabling the continuous development of the ports of the future.

While this also affects the equilibrium of the coast, it does not do so in a local manner but rather over a broad section of the coast and reduces the forces affecting the same. However, it would not be considered reasonable to generalize these constructions at just any coastal port but to limit these to specific ports which would be functionally operative.

The technique could also be employed as a stabilizing element in those areas suffering from highly unequal erosion and deposit which is, unfortunately, very common today.

This may then be considered as an operation of regional planning for the future and one very much in line with the current water plans regulating Spain's rivers. This could then be seen as a national programme or one affecting the entire port system but in no case should be considered purely in terms of one specific port.

The process evidently requires strategic planning and not in the restrictive sense of individual ports, which are governed by supposed inter-port competition, but rather in a broader sense and where the traffic of goods, the inter-connection between different modes of transport and the areas of production and demand are all seen to work in harmony.

Actions of the type proposed should not be considered as a total globalization of the Spanish port system but as ones aimed at reinforcing the concept of the sea front which, as we have already seen, takes on further emphasis with a combined system of transport.

The construction of new port areas will reinforce this need for common administration which is just now beginning to take shape within joint organizations on an inter-regional basis, and primarily centred on political rather than technical considerations.

We are then seen to be facing a technical, political and administrative dilemma.

Our 20th century ports date back to the designs of 1900. Are we now in a position to repeat history and establish the bases for the future ports for the end of this century? ■

BIBLIOGRAFÍA

–Chiang C. Mei, *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves Advanced Services on Ocean Engineering – Vol.1* 1989.

–Y. Goda, *Random seas and design of maritime structures. Advanced Series on Ocean Engineering- Volume 15.*

–Recomendaciones para Obras Marítimas. R.O.M. 0.3 – 1991. *Clima Marítimo en el litoral español. Puertos del Estado.*

–Programa para el cálculo previo de diques verticales. Centro de Estudios de Puertos y Costas. 1994.

–Obras de Atraque de Cajones en España. Dirección General de Puertos y Costas. MO-PU. 1988.