

Innovación en la construcción marítima: El Sistema Ambiental

Pedro Suárez Bores

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de Puertos y Costas

Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid

[Innovations in Maritime Construction: The Environmental System]

RESUMEN

Se presenta el Sistema Ambiental aplicable en la formación de áreas abrigadas, portuarias y costeras, cuyos canales y dársenas actúan como un conjunto hidrodinámico integrado, disipador de energía, al estar formados por un agregado de elementos estructurantes lineales de baja cota de coronación, de las tres clases siguientes: rebasables, permeables y no-reflejantes, que amortiguan las ondas de gravedad de corto período, su reflexión y posibles resonancias, y permiten la circulación y evacuación de los caudales de rebase. Por su baja cota de coronación y las características de sus elementos estructurantes, el Sistema Ambiental conserva las vistas del mar y permite la libre circulación del aire superficial y la renovación del agua de las dársenas, con las consiguientes ventajas funcionales, ambientales y paisajísticas.

ABSTRACT

The article presents the Environmental System which is applicable to the formation of harbour, port and coastal areas in which the channels and basins act as an energy dissipating integral hydrodynamic assembly. The structural elements, which are overtopping, permeable and/or nonreflecting, absorb the short period gravity waves, their reflection and possible resonance and allow the circulation and removal of the overspill. As a result of the low crown height and the characteristics of its structural elements, the Environmental System retains sea views and allows for the free circulation of surface air and the renewal of water in the basins. The corresponding advantages in terms of functionality, environment and landscape are evident.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la definición fundamental de nuestro Método Sistémico Multivariado, todas y cada una de las obras realizadas por el hombre, consideradas como **Sistemas de Diseño**, tienen una ó más posibilidades de **fallo**, que denominamos **componentes de fallo**.

INTRODUCTION

*In accordance with the basic definition of our Multivariable Systemic Method, all manmade works considered as **Design Systems** have one or more possibilities of **failure**, which we refer to as **failure components**.*

Distinguiamos variadas clases de fallo de las obras marítimas: **material, estructural, funcional, económico, ambiental y estético.**

El anterior análisis nos permite distinguir **tres etapas** en el establecimiento de los criterios de construcción de las obras.

En la **primera etapa**, con una base tecnológica incipiente, prepondera la inquietud por la propia integridad de las obras, prevaleciendo en consecuencia los criterios técnicos, **estructural y material**, principalmente, que aseguran la adecuada y segura consecución de las obras.

En una **segunda etapa**, cuando el nivel tecnológico permite ya la construcción de las obras con un nivel de seguridad y calidad suficientes, se imponen los criterios **económicos**

En nuestra opinión, para un proyecto determinado, el **óptimo económico** se consigue cuando cumpliendo o mejorando todas y cada una de las especificaciones – materiales, estructurales, funcionales, ambientales y estéticas – se logra un precio mas barato merced a la utilización de unos métodos constructivos, de un plan de obra y/o de una gestión empresarial mas adecuadas.

Conseguir un precio más barato reduciendo el nivel de calidad o fiabilidad de alguna o de todas las especificaciones del proyecto no es un óptimo económico, es un engaño, una estupidez o ambas cosas a la vez. Las desagradables consecuencias de este tipo de actuaciones las he sentido en la construcción de algunas de mis obras.

Aunque muchas obras son o pueden ser esencialmente multi-funcionales (multiuso), y sus dimensiones han de evolucionar con el tiempo, es todavía muy frecuente que la atención del proyectista se fije exclusivamente en la función principal a que se destinan, y a las estrictas necesidades del momento. Esto, generalmente repercute sobre un menor precio de la obra, muy de acuerdo con el criterio imperante en la actualidad, pero acarrea graves restricciones funcionales en el futuro de la obra.

Los fallos debidos a esta polarización en el objetivo y a esta imprevisión de futuro son especialmente graves desde una perspectiva ambiental, a la vista de los notorios daños que sobre la Naturaleza originan muchas de las construcciones. Por el contrario estos fallos son causa también de las catástrofes que la Naturaleza, en repetidas ocasiones, provoca sobre las obras, como si de una Némesis se tratase: Inundaciones, etc.

Afortunadamente y en parte debido a estas catástrofes, esta desgraciada falta de sensibilidad va siendo substituida por una mayor racionalidad y responsabilidad hacia la Naturaleza y hacia la Humanidad.

En su más amplio sentido el **fallo ambiental** es el que afecta a todos o alguno de los elementos del Medio Natural – Atmósfera, Hidrosfera (continental y marina), Manto sólido (Costas, etc.), Biomasa (Continental y marina) – así como los Procesos naturales (Meteorología, Climatología, Hidrología, Hidráulica; Ecología, etc.) y a la calidad del Medio (Contaminación, Eutrofización, Paisaje, etc.)

The various types of failure found in maritime works are as follows: material, structural, functional, economic, environmental and aesthetic.

From this we can then consider three stages for establishing the construction criteria of the work.

In the first stage priority is given, on an incipient technological basis, to the integrity of the works themselves and to the establishing of the technical, structural and material criteria which will assure the suitable and safe construction of the works.

In the second stage where the technological level now allows for the construction of the work under sufficient guarantees of safety and quality, priority shall now be given to economic criteria.

In our opinion in each specific project the economic optimum is obtained when each and every one of the material, structural, functional, environmental and aesthetic specifications have been met or improved upon at the cheapest price by means of more suitable construction methods, work schedule and/or company administration.

Cheaper prices which are obtained by sacrificing quality levels or guarantee of any of the design specifications cannot be considered as an economic optimum but are mere deceptions or acts of stupidity or perhaps both. I myself have suffered the unfortunate consequences of this type of actions in the construction of some of my projects.

While many works are or can be essentially multifunctional and their dimensions can evolve with time, it is still very common for the designer to focus on the main function of his work and only to consider the strict requirements of the moment. This procedure, while leading to a lower cost of the work in accordance with the prevailing criteria of our time, unfortunately entails serious functional restrictions for the work in the future.

The failings due to this polarization of objectives and lack of prevision for the future have particularly serious consequences from an environmental point of view, by virtue of the evident damage caused to our surroundings by many constructions. However, these failures can also be the cause of catastrophes which Nature frequently inflicts on these works, in a form of nemesis or retributive justice, as in the case of floods, etc.

Fortunately, and partly as a result of these catastrophes, this unfortunate lack of sensitivity is gradually being replaced by a greater rationality and responsibility towards Nature and mankind.

In the broadest sense of the term, an environmental failure is one which affects each and every element of the Natural environment Atmosphere, Hydrosphere (continental and marine), Solid Mantle (coasts, etc), Biomass (continental and marine) as well as Natural Processes (climatic, hydrologic, ecologic, etc) and environmental quality (pollution, eutrophication, etc).

A este respecto debemos puntualizar que el **Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental** debe ser considerado tan solo como detector de los posibles fallos ambientales de los proyectos y no como procedimiento para encontrar la solución óptima de los mismos.

En puridad **Técnico** (Ingeniero, Arquitecto, etc.) **Ambiental** es aquel que diseña, proyecta y/o construye de acuerdo con las leyes y principios que favorecen la conservación y mejora del patrimonio natural de nuestro Planeta.

Siguiendo esta línea de pensamiento presentamos a continuación, un ejemplo de **diseño de obras marítimas** en donde las **especificaciones ambientales** son la base del planteamiento del problema. Otras mejoras en las especificaciones funcionales, estructurales, etc. se han tenido también muy en cuenta, pero siempre subordinadas a las especificaciones ambientales.

CONSTRUCCIÓN MARÍTIMA. ESTADO DE ARTE

Desde hace por lo menos tres milenios el hombre viene creando en las costas áreas abrigadas, principalmente con fines portuarios, utilizando como obras, preferentemente, diques de abrigo y muelles de atraque, combinadas ambas obras, frecuentemente, en la modalidad de diques-muelle.

Sorprendentemente y a diferencia de lo que ha sucedido en otras técnicas, la tipología de estas obras marítimas, **diques y muelles**, convencionales, no ha evolucionado substancialmente a lo largo del tiempo. Se han mantenido, en líneas generales, al menos cuando la energía del oleaje es alta, tipologías ya consolidadas en tiempos anteriores al Imperio Romano.

Hasta la actualidad y manteniendo esa antiquísima tradición, estas obras marítimas se han diseñado para cumplir, estrictamente, con la función principal a la que se han destinado –el **abrigo y atraque** de embarcaciones– habiéndose proyectado estas obras en los últimos decenios con sofisticados estudios y ensayos estructurales para determinar la acción dinámica de las ondas de gravedad, los esfuerzos de atraque y/o amarre, los efectos sísmicos, etc. pero sin apenas reparar y menos intentar resolver los graves problemas funcionales, ambientales y panorámicos originados por estas obras, problemas que se acentúan particularmente en costas con escasa marea.

Tipológicamente se han clasificado las obras de abrigo convencionales en dos grandes grupos:

- ▼ los diques de paramentos verticales o quasi verticales, formando estructuras monolíticas, denominados diques verticales ó reflejantes, y
- ▼ los diques en talud contruidos en general con bloques naturales o artificiales, dispuestos regular o irregularmente, formando un talud más o menos tendido, denominados diques rompeolas ó simplemente rompeolas.

*In this regard we should indicate that the **Environmental Impact Evaluation Study** should only be considered as a detector of possible environmental faults in design and not as a procedure to find the optimum solution of the same.*

In a purely technical context (Engineering, Architecture, etc) the word environmental is taken to be anything designed and/or constructed in accordance with laws and principles which favour the conservation and improve the natural heritage of our planet.

Following this line of thought we shall now present an example of sea work design where the environmental specifications serve as the basis for the phrasing of the problem. Other improvements in the functional, structural specifications, etc., have also been taken into account but always subordinate to environmental specifications.

MARITIME CONSTRUCTION. STATE OF THE ART

For at least three millenniums man has been creating sheltered coastal areas mainly for the purpose of harbours which normally employ breakwaters and wharves. These are frequently combined to form ports.

*Surprisingly, and as opposed to that seen in other techniques, the typology of these conventional harbour works of **breakwaters** and **wharves** has not evolved substantially over the years. In general lines and particularly in areas of high swell, the typology of these structures is much the same as that consolidated in preRoman times.*

To the present day, and following this ageold tradition, these sea works have been designed in strict compliance with the main purpose for which they were intended– the harbour and mooring of vessels, in spite of the fact that in recent decades these works have been designed on the basis of sophisticated studies and structural tests in order to establish the dynamic action of the gravity waves, berthing and/or mooring stress, seismic effect, etc., but without hardly any attempt to consider or even to try to solve the serious functional, environmental and panoramic problems caused by these works and which are even more accentuated in areas of small tidal variation.

Conventional harbour works may be classified in two large groups:

- ▼ *those with their sea face vertical or almost vertical, which form monolithic structures known as vertical or reflecting breakwaters.*
- ▼ *those with their sea face in talus, generally constructed in natural or artificial blocks set in a regular or irregular fashion, known as rubblemound breakwaters*

Operativamente ambos tipos de diques convencionales, reflejantes y rompeolas, pueden ser clasificados, a su vez, en irrebables y rebasables.

El inconveniente fundamental de los **diques irrebables convencionales**, sean reflejantes o rompeolas, ha sido siempre su **desmesurada altura**, pues su cota de coronación, en el caso de los diques verticales, ó la de su espaldón, en el caso de los diques de escollera, ha de superar una altura tal que impida el rebase de las olas mayores de los temporales máximos ocurrientes durante la vida previsible de la obra, lo que ha llevado a unas construcciones descomunales, con cotas de coronación verdaderamente impresionantes: **San Ciprián (Lugo) 22 metros, Bilbao 21,5 metros, Gijón 18 metros.**

Tradicionalmente los **muelles de atraque** se han construido con muros, pantallas de tablestacas, etc., de paramentos verticales ó quasi verticales, muy reflejantes, como los diques verticales, para las ondas de gravedad de corto periodo.

Más modernamente y siguiendo tradiciones del sudeste asiático las obras de atraque se han resuelto con **pantalanes fijos**, formando obras exentas sustentadas por pilas y/o pilotes, y con **pantalanes flotantes** atracados y/o fondeados. En cualquier caso ninguna de estas obras constituye barrera hidrodinámica apreciable a la propagación de las corrientes y/u ondas de gravedad en las áreas abrigadas.

Con la excepción de los pantalanes y de las propias embarcaciones atracadas, cuya presencia no afecta substancialmente a la hidrodinámica en las áreas abrigadas, todas estas obras marítimas convencionales, diques y muelles, son, pues, de hecho: Continuas, irrebables, impermeables y reflejantes.

A los inconvenientes ambientales y panorámicos originados por la formación de **barreras climáticas y visuales**, originados por la excesiva altura de coronación de los diques, se suma la agitación originada por la reflexión de las ondas de gravedad, que entran por la bocana del puerto y/o son generadas por las embarcaciones que navegan en las áreas abrigadas, produciendo, en su caso, interferencias múltiples y posibles resonancias.

Todos estos inconvenientes, junto con el estancamiento del agua de las dársenas, debido a la dificultad de renovación del agua de las mismas, con acumulación de residuos, creación de condiciones anaerobias, etc., son causa de la ínfima calidad ambiental, sanitaria e incluso estética de los puertos convencionales.

EL SISTEMA AMBIENTAL

En contraste con el concepto de obra de abrigo, prevalente hasta el momento, consistente en una obra única convencional ■ (de tamaño y altura de coronación desmesurados), esquemáticamente,

mar ■

Operationally both types of conventional breakwaters, vertical and in talus, can, in turn, be classified as overtopping and non-overtopping.

*The main inconvenience of **conventional non-overtopping breakwaters** has always been their **disproportionate height**, as the level of the crown, in, both cases, has to be of such a height as to prevent the passing of the highest waves during the strongest storms during its working life, which then leads to inordinate constructions with truly incredible top heights such as those at **San Ciprian (Lugo) with 22 metres, Bilbao with 21.5 metres and Gijon with 18 metres.***

Traditionally the wharves and quays have been constructed with walls, sheetpiles, etc, with vertical or almost vertical sides which are very reflecting, for short period gravity waves.

In recent times and following the tradition of southeast Asia, these wharves have been built using fixed pontoons forming free structures supported on piles and floating pontoons which are moored and/or anchored. Neither of these systems provides an appreciable hydrodynamic barrier to the propagation of currents and/or short period waves in sheltered areas.

With the exception of the pontoons and the moored vessels themselves, which do not substantially affect the hydrodynamics in the harbour areas, all these conventional harbour and sea works, breakwaters and wharves, are in fact: continuous, impermeable, reflecting and do not allow overtopping.

In addition to the environmental and panoramic inconveniences caused by the formation of sea and visual barriers due to the excessive height of the crowns of the same, it is also necessary to add the disturbances caused by the reflection of the gravity waves which enter the port mouth and/or are created by the vessels moving within the harbour area and leading to multiple interference and possible resonance.

All these inconveniences together with the stagnation of the water within the harbour basins due to the difficulty of renewing the water of the same and with the ensuing accumulation of residues and the creation of anaerobic conditions, etc., are causes of the poor environmental, sanitary and even aesthetic qualities of conventional ports.

THE ENVIRONMENTAL SYSTEM

As opposed to the prevailing concept of harbour works which consists of a single conventional work, ■ (with inordinate height and size of the breakwater crown), schematically indicated as,

sea ■

el **Sistema Ambiental** (está constituido transversalmente por un conjunto, una secuencia, de elementos de baja cota de coronación, (obras), ■ , separados por espacios acuáticos (canales amortiguadores de energía, dársenas portuarias, etc.) intermedios, esquemáticamente,

mar ■ agua ■
o, en general, mar ■ agua ■ agua agua ■

constituyendo un **sistema hidráulico integrado, disipador de energía multifase**.

El Sistema Ambiental, como es reconocido específicamente por la Administración y por la Oficina de Patentes Europea, se refiere a la disposición de las obras y no a sus elementos materiales o constructivos.

Con el **Sistema Ambiental**, los espejos de agua abrigados (canales amortiguadores de energía, dársenas, etc.) pueden formar un conjunto hidrodinámico integrado, disipador de energía de las ondas de gravedad de corto período (oleaje, ondas de estela, ondas de percusión, etc.), al estar limitado, conformado, este conjunto por la combinación, en su caso con repetición, de elementos (obras) estructurantes lineales de las tres clases siguientes :

▼ **Rebasables**, de muy baja cota de coronación, formados preferentemente por diques de abrigo rebasables, preferentemente rompeolas.

▼ **Permeables**, de baja cota de coronación, constituidos preferentemente por muelles permeables. (33)

▼ **No-reflejantes**, constituyendo, preferentemente, obras de ribera.

En las secuencias en donde el Sistema Ambiental consigue su mayor eficacia, particularmente para su **aplicación en instalaciones portuarias**, la primera obra, del lado del mar, es rebasable para así romper el oleaje exterior. La coronación de esta obra puede estar, cuando las circunstancias lo justifiquen, como puede ser el caso de algunas defensas de costas, parcial e incluso totalmente sumergida.

La eficacia de los diques rebasables como amortiguadores de energía depende fundamentalmente de su cota de coronación, ya que la distribución de la energía transmitida por el oleaje decrece, exponencialmente, con la profundidad, concentrándose en las inmediaciones del nivel instantáneo del mar.

Cuando la coronación del dique se encuentra en forma apreciable por debajo del nivel instantáneo del mar, el oleaje rebasa el dique conservando incluso su propio período y gran parte de su energía. El proceso de rotura depende de las características del oleaje y de la profundidad de submersión de la coronación, pero bastan umbrales del orden de dos metros para que las olas, incluso las de los temporales pasen sin romper, al menos totalmente, sobre el dique sumergido.

*the **Environmental System** is transversally composed of a group, or arrangement of elements of low crown height works, ■ , separated by intermediate water spaces (energy absorbing channels, port basins, etc), schematically indicated as:*

sea ■ water ■
or, in general sea ■ water ■ water water ■

*establishing an **integrated, multiphase, energy-dissipating environmental system**.*

*The **Environmental System**, as specifically recognised by the American Administration and by the European Patent Office, refers to the layout of the works and not to the material or building elements.*

*Under the **Environmental System**, the sheltered level stretches of water (energy absorbing channels, basins, etc) form an integral hydrodynamic assembly which dissipate the energy of short gravity waves (swell, wake current or back wash, percussion waves, etc) due to the combination, even with repetition, of lineal structural elements of the following three classes:*

▼ **Overtopping** elements of very low crown height and formed mainly by rubblemound breakwaters.

▼ **Permeable** structures of low crown height formed by permeable wharves

▼ **Nonreflecting** shore line structures

The sequences of elements, constituents, where the Environmental System shows the greatest efficiency, and particularly with regards to port installations, is that in which the first sea work is an overtopping rubblemound breakwater in order to break the external swell. When circumstances so permit, as in the case of some coastal defences, the crowns of these breakwaters can be partially or, indeed, totally submerged.

The efficiency of overtopping breakwaters as energy absorbers essentially depends on their crown heights, as the distribution of energy transmitted by the swell decreases exponentially with the depth, and is concentrated in the environs of the instantaneous sea level

When the crown of the breakwater is noticeably below the instantaneous sea level, the swell passes over the breakwater and conserves its own wave period and a large part of its energy. The wave breaking process depends on the characteristics of the swell and the depth of submersion of the crown. However, thresholds of around two metres will suffice to allow the waves, including storm waves, to pass without breaking, or at least without totally breaking, over the submerged breakwater.

Basta que la cota de coronación de los diques en talud sea superior al nivel medio de mar en movimiento - habida cuenta de la marea meteorológica, que muy frecuentemente acompaña a los temporales - para que la rotura de las olas sea franca. El movimiento ondulatorio, en este caso, se transforma en una lámina líquida que rebasa la obra suave y gradualmente.

Con cotas de coronación del orden del metro y con pequeños oleajes, la agitación en el espejo de agua en el lado del abrigo es prácticamente despreciable, pero al crecer la altura de ola, salvo que la anchura de coronación se sobredimensione, lo cual suele ser antieconómico e incluso antiestético, el rebase crece en volumen y velocidad.

Los **diques en talud** son unos magníficos rompeolas, en el sentido más literal de la palabra, particularmente si son de escolleras, naturales o artificiales, pues la permeabilidad de los mantos, principal y secundarios colabora eficazmente en esta función.

Los efectos nocivos originados en ellos por el rebase son de distinta naturaleza: Primero aumenta la agitación en el área abrigada y segundo desestabiliza el borde de la coronación del lado del abrigo, en donde la acción hidrodinámica de la lámina líquida es directa y la estabilidad de los cantos es menor, por ser su pendiente hacia abajo.

Por todo ello la coronación de estos elementos rebasables debe siempre configurarse, dimensionarse y protegerse convenientemente para garantizar su estabilidad y mejorar su función como anuladores de energía.

Nuestro **Dique Arrecife**, (figura 1), está especialmente ideado y diseñado para cumplir esta función, pues su coronación va provista de las adecuadas plataformas de protección, que garantizan la estabilidad de la obra. La superficie de estas plataformas se dota con formas en alto (o bajo) relieve, **difusores**, que fraccionan, lanzan y dispersan en el aire los caudales de rebase, facilitando su aireación. En estas condiciones la tensión superficial actúa eficazmente transformando la masa compacta de rebase en una emulsión agua-aire, muy esponjosa, semejante a una nube de gotas de gran tamaño.

Este efecto incrementa la eficacia del Dique Arrecife como disipador de energía pues aumenta el frenado por rozamiento con el aire, multiplica el número de impactos y aumenta el período de percusión, produciendo sobre la superficie líquida del lado del abrigo un efecto semejante a intensísimo chaparrón. En estas condiciones la cesión de energía al cuerpo de agua del lado del abrigo disminuye drásticamente, produciendo en éste una agitación moderada, que incluso puede llegar a ser despreciable.

Para que esto suceda es necesario que la velocidad de los caudales de rebase sea grande y que el tamaño de los difusores sea comparable con el espesor de la lámina líquida de rebase. En Laboratorio donde los modelos y las características del oleaje son pequeños no se consigue la formación de la emulsión y la eficacia del Dique Arrecife no se aprecia, como sucede en la naturaleza. Ver figura 2.

Providing the crown height of the rubblemound breakwater is greater than the mean sea level when taking into consideration the meteorological tide that frequently comes with storms the waves will then break in an open manner. The undulating movement, in this case, is transformed into a liquid sheet which gradually and gently spills over the sea work.

With crown heights of around one metre and under low swell, the agitation of the sea surface on the sheltered side is practically unnoticeable, but as the wave height increases the overtopping will increase in volume and speed, unless the breadth of the crown is oversized, which is both costly and antiaesthetic.

*The **breakwaters in talus** are magnificent wave breakers, in the most literal sense of the word, particularly when its armor layer is formed with rubble or artificial blocks, since the permeability of the principal and secondary layers efficiently collaborates in this function.*

The negative effects caused by the overtopping in these breakwaters are various: firstly, they increasingly stir the waters in the sheltered area and secondly, they destabilise the edge of the crown on the harbour side where the hydrodynamic action of the liquid layer is direct and the stability of the armouring is lower due to its downward slope.

As such, the crown of these overtopping breakwaters should always be arranged, dimensioned and protected in a suitable manner to guarantee stability and improve their function as energy absorbers.

*Our **Reef Breakwater**, (figure 1), is specially conceived and designed to carry out this function, as its crown is provided with suitable protection platforms which guarantee the stability of the work. The surface of these platforms is provided with diffusers, in high (or low) relief, which fraction the overflows and cast and disperse these in the air, thereby aiding the aeration of the same. As such the acting surface tension effectively transforms the compact overtopping mass into a very spongy waterair emulsion in the manner of a spray cloud formed by large drops.*

This effect increases the energy dissipation efficiency of the Reef Breakwater as it increases breaking by air friction, thereby multiplying the number of impacts and increasing the percussion period, and causing an effect on the liquid surface of the sheltered side similar to that of a very heavy downpour. Under these conditions the transfer of energy to the body of water on the harbour side is dramatically reduced and only a slight agitation, which may go unnoticed, is caused.

In order to achieve this still water effect, it is necessary that the speed of overspill be very fast and that the size of the diffusers be comparable to the thickness of the overflowing liquid mass. In laboratory testing where the models and wave characteristics are small, the efficiency and ensuing formation of emulsion of the Reef Breakwater is unnoticeable, though it is clearly evident in nature. See fig. 2



Figura 1, Dique Arrecife, con difusores conoidales. Vista general.
Figure 1. Reef Barrier, with conoidal diffusers. General view.

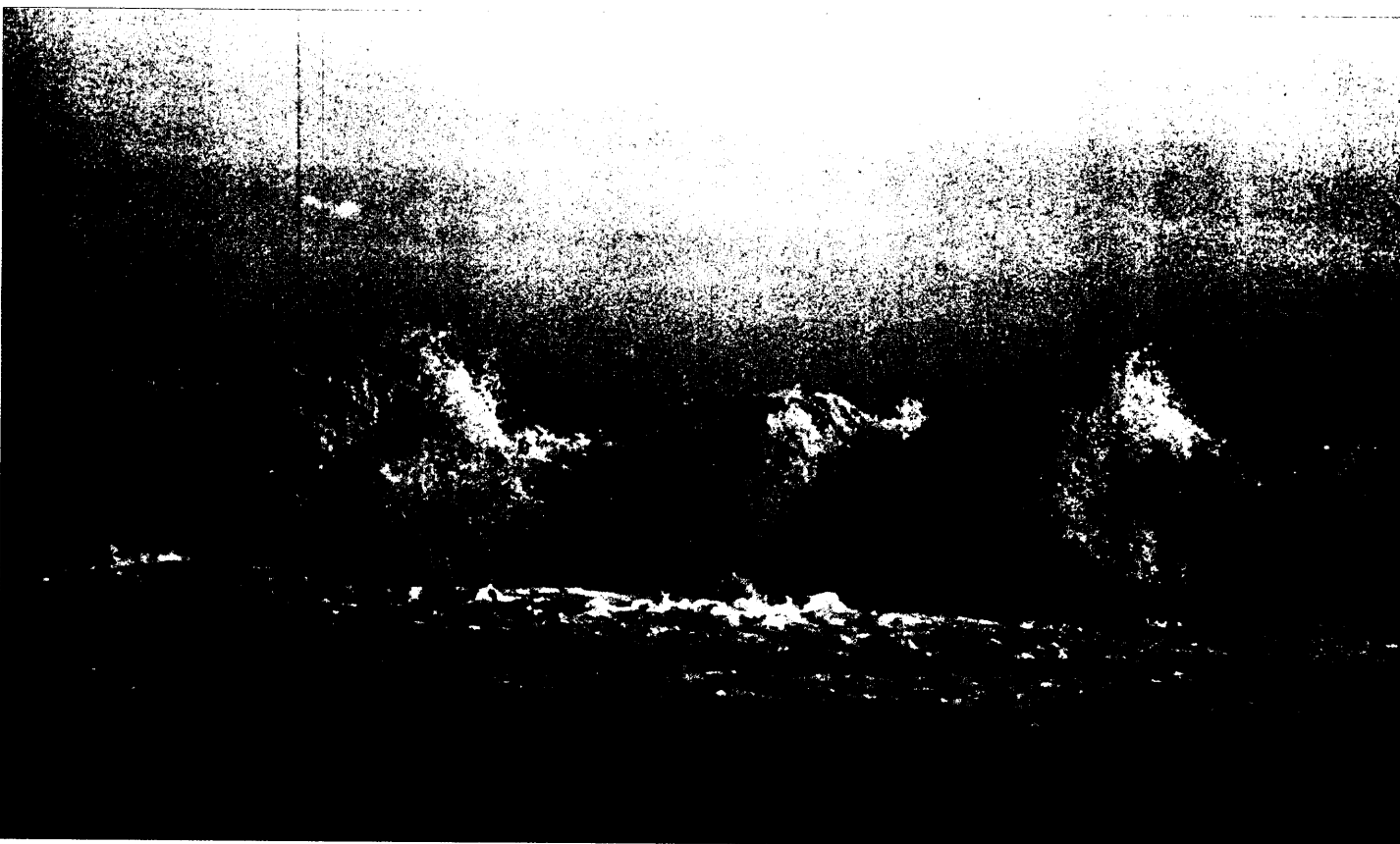


Figura 2. Dique Arrecife. Rebase de un temporal. Obsérvese la emulsión agua-aire.
Figure 2. Reef Barrier. Storm overflow. Note the water-air emulsion.

El principal mecanismo de disipación de energía en el proceso de rebase es el derivado de la rotura del oleaje sobre la obra, pero, no obstante, la energía cinética de los caudales de rebase, derivada del proceso de rotura, puede ser muy importante.

El efecto de los difusores sobre la formación de la emulsión agua-aire y la disipación de la energía cinética de los caudales de rebase es decisiva en tanto el espesor de la lámina de rebase sea inferior a la altura de los difusores.

Cuando este espesor es superior, la producción de emulsión disminuye, rebasando la totalidad de los caudales como una compacta masa líquida y con la totalidad de la energía cinética.

Hidrodinámicamente el problema tiene una fácil solución: Aumentar el tamaño de los difusores, y de la coronación del Dique Arrecife, de acuerdo con las características de este oleaje, según las leyes de escala hidrodinámicas.

Pero si la toma de decisiones no se basa solo, y fundamentalmente, en **criterios funcionales**, (hidrodinámicos), sino en **criterios ambientales, panorámicos** etc. los resultados son muy distintos, ya que, como sucede en este caso: La cota de coronación del Dique Arrecife y las dimensiones de los difusores serán aquellas que conserven las vistas del mar, sin formar barreras ambientales ni panorámicas, y sin constituir un peligro para los usuarios y la navegación, pues permite la conveniente señalización, etc.

Con estos criterios la cota de coronación del Dique Arrecife es el orden de un metro. Constructivamente esta cota de coronación es muy adecuada y permite proteger el manto del lado del abrigo del impacto directo de los caudales de rebase, con una lámina de agua de suficiente espesor.

Los **diques verticales** también pueden actuar como obras rebasables del Sistema Ambiental, pero teniendo en cuenta su comportamiento hidrodinámico. Cuando actúan como primera obra, del lado del mar, del Sistema, recibiendo directamente fuertes oleajes, su comportamiento con respecto al rebase es diferente al de los **diques en talud**, particularmente cuando la cota de coronación es baja, cercana al nivel del mar.

Ensayos realizados en el Laboratorio del CEPYC para la patente iraní Darya Paye, (obra consistente en una alineación de cajones indios con placas verticales de enlace, lo que le configura como un dique vertical), muestran que, para oleajes importantes existe, en primera instancia, un intento de reflexión de la ola, con formación de un remolino de eje horizontal que, posterior y súbitamente, se rompe y, a modo de salto, la ola rebasa la obra masivamente, con muy reducida pérdida de energía sobre, y por la acción, de la propia obra.

La acción de los posibles difusores y la formación de una emulsión agua-aire es prácticamente inapreciable en este caso.

A diferencia de los sistemas portuarios convencionales, en donde los espacios acuáticos interiores están, teóricamente, en reposo, sirviendo solo de lugares de ocupación por los

The main mechanism for the dissipation of energy during the overtopping process is derived from the breaking of the swell, however, the kinetic energy of the overtopping is decisive providing the thickness of the overflowing layer is lower than the height of the diffusers.

When the thickness of this layer is greater, the emulsion production decreases and all the overflow passes as a compact liquid mass with all its kinetic energy.

This problem has an easy hydrodynamic solution: to increase the size of the diffusers and the crown of the Reef Breakwater in accordance with the characteristics of this swell and the laws of hydrodynamic scaling.

However, when the decision making process is not purely and essentially based on functional (hydrodynamic) criteria, but also on environmental and panoramic criteria, etc, the results are very different as in the following case the crown height of the Reef Breakwater and the dimensions of the diffusers have to be established in order to maintain sea view, without forming any environmental or panoramic barriers or interruptions and, at the same time, without posing any hazard to navigation due to beaconage and signalling.

Under this criteria the crown height of the Reef Breakwater is around one metre. In construction terms this crown height is more than adequate and allows for the protection of the armouring on the harbour side from the direct impact of the overflows by means of a water sheet of sufficient thickness.

Vertical monolithic breakwaters may also act as overtopping works within the Environmental System, though due consideration has to be given to their hydrodynamic behaviour. When these act as the first sea defence of the system and directly receive strong swell, this type of structure behaves differently in terms of overtopping to **rubblemound breakwaters** particularly when the crown height is low and close to sea level.

Tests carried out at the CEPYC laboratory for the Iranian patent Darya Paye (a sea work consisting of Indian caissons with vertical connecting plates set in the form of a vertical breakwater), show that under heavy swell the wave first reflects in such a manner as to cause an eddy of horizontal axis which then suddenly breaks and the wave spills massively over the breakwater with a very limited loss of energy over, and by the action of, the sea work itself.

The action of possible diffusers and the formation of a waterair emulsion is almost negligible in this particular case.

As opposed to conventional port systems where the internal water spaces are theoretically still and only serve for the specific needs of the users mooring and passage of vessels, etc. in the Environmental System these aquatic spaces have a decisive role in the operability,

usuarios con diversos fines – amarre de embarcaciones, paso de embarcaciones, etc. – en el Sistema Ambiental estos espacios acuáticos pasa a ocupar un papel decisivo no solo en la operatividad sino también en la funcionalidad hidrodinámica y en la calidad ambiental del Sistema.

Con el Sistema Ambiental el conjunto de canales y dársenas se constituye, o puede constituirse, en un **conjunto hidrodinámico integrado**, disipador de energía, en el que ingresan los caudales de rebase y, en su caso, las corrientes costeras, de marea (astronómica y meteorológica) etc. En consecuencia, aspectos de relevante importancia en diseño de los Sistemas Ambientales, cualquiera que sea la tipología y la secuencia de sus elementos (obras) estructurantes, son la **agitación** y el **desagüe** de todos y cada uno de los espacios líquidos del Sistema : Amortiguadores hidráulicos, dársenas, etc.

Tanto el volumen líquido como la energía embarcados con cada ola de los temporales depende, como ya hemos señalado, del tipo y morfología de las obras, así como de la altura de coronación de las mismas, (condicionada aquí por criterios ambientales, operacionales, etc.) pero en cualquier caso, tratándose de un temporal importante, los caudales de rebase son cuantiosos, y su energía grande en muchos casos.

Esto obliga, en cada uno de los espejos de agua, particularmente los inmediatos al mar, a soluciones que cumplan las dos especificaciones siguientes :

- ▼ impedir la reflexión de las ondas y la producción de interferencias y posibles resonancias, y
- ▼ evacuar los caudales de rebase rápida y fácilmente, logrando situaciones de agitación estacionarias tolerables en condiciones extremas

En la aplicación (secuencia) portuaria que estamos considerando ambas especificaciones se cumplen ubicando como cajeros del lado de tierra de los canales amortiguadores del Sistema Ambiental nuestro **Muelle filtro**. Como puede apreciarse en las figuras 3 a 5, el Muelle Filtro es una obra permeable concebida esencialmente como tal, para funcionar en ambos sentidos. Está constituida por un sistema de placas perforadas con agujeros y/o ranuras, encajadas o adosadas a pilas, o en su caso, formando estructuras celulares en cajón. Los espacios transversales entre placas pueden lastrarse, en su caso, con escolleras, piezas tubulares, etc.

La función del Muelle Filtro es múltiple, pues además de permitir el paso a su través de los caudales de rebase y de las corrientes y ondas de gravedad de largo período, mareas, etc., filtra las ondas de gravedad de corto período (oleaje, agitación producida por el rebase de éste, ondas de estela, ondas de percusión), evita la reflexión del oleaje y, en consecuencia, la agitación en el canal amortiguador de energía.

Estos efectos beneficiosos actúan en ambos sentidos, facilitando doblemente tanto la circulación hidrodinámica en las áreas abrigadas, como evitando la reflexión y disipando la agi-

hydrodynamic function and environmental quality of the system.

In the Environmental System the arrangement of channels and basins forms, or can form, an integrated hydrodynamic assembly which receives the ingress of overflow and, should it be the case, of coastal currents and tides (astronomic and meteorological) etc. As such, the agitation and drainage or runoff of each and every one of the liquid spaces within the Environmental System –hydraulic absorbers, basins, etc.,– have an important relevance on the design of the same, regardless of the type and arrangement of their component structural sea works.

Both the liquid volume and the energy contained in each storm wave depend, as we have already indicated, on the type and form of the sea works and the crown height of the same (here conditioned by environmental and operative criteria, etc), however in a serious storm, the overflows and contained energy will be very large in most cases.

This means that each area of water, and particularly those close to the sea, has to meet the two following specifications:

- ▼prevent the reflection of waves and the causing of interference and possible resonance, and
- ▼allow fast and easy runoff of overflows, creating suitably still water under extreme conditions.

*In the port application (arrangement) in question, both specifications are met by placing our **Wharf Filter**, a filtering barrier set on the shoreward side of the absorbing channels, within the Environmental System. The Wharf Filter, as can be seen in figures 3 to 5, is a permeable structure which is specially conceived to work in both directions. The filter is formed by an arrangement of walls which are perforated with holes and/or grooves, and encased or embedded in piles, or alternatively forming cellular box structures. The transversal spaces between each wall may be ballasted if necessary with rubble, tubular elements, etc.*

The function of the Wharf Filter is multiple as in addition to allowing the passage of overflows, currents, long period gravity waves, tides, etc., it also filters the short period gravity waves (swell, agitation produced by the overflow of the same, wake current or back wash, percussion waves) thereby preventing the reflection of the swell and, subsequently, any choppy waters within the energy absorbing channel.

These beneficial effects work in both directions, thereby both favouring hydrodynamic circulation in the harbour areas and preventing reflection and stilling the waters in each sheltered area.

Figura 3.
Muelle filtro en
construcción.
Colocación de las
placas perforadas.

Figure 3.
Filter Wharf under
construction.
Placing of
perforated walls.

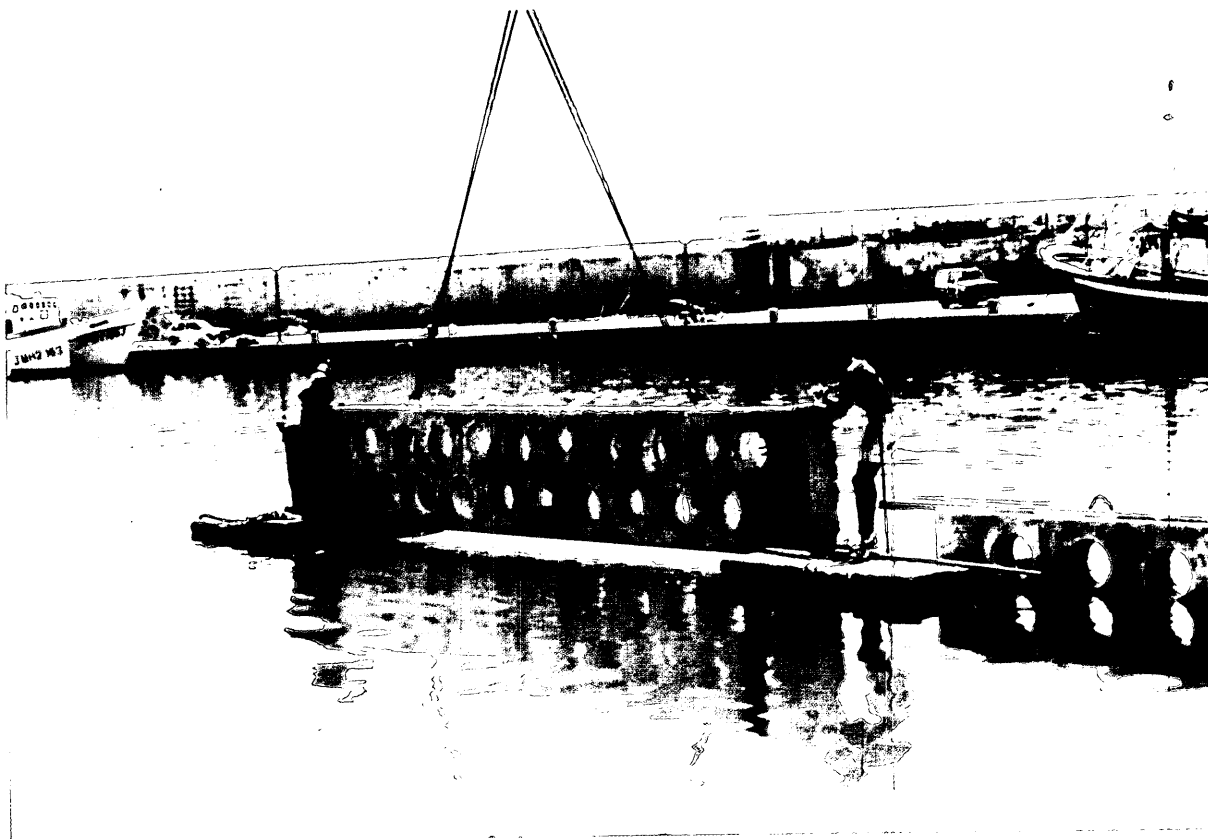


Figura 4.
Muelle filtro.
Sistema filtrante
instalado.
Figure 4.
Filter Wharf.
Installed filtering
system.





Figura 5. Muelle filtro. Pantalán terminado./Figure 5. Filter wharf. Finished pontoon.

áreas abrigadas, como evitando la reflexión y disipando la agitación en cada uno de ellas.

Cuando las circunstancias lo requieran –gran longitud de las obras, grandes volúmenes de rebase, etc.– los elementos estructurantes del Sistema Ambiental pueden ser **discontinuos** quedando divididos en tramos, separados por aberturas, que, siguiendo la terminología marítima, denominamos **freos**.

En su caso estos tramos se solapan para evitar la transmisión de las ondas de gravedad de corto período por los freos, con solapes ordenados preferentemente en series continuas monótonas, en series alternantes (en **tresbolillo**) o aleatoriamente.

Las distancias de separación y las longitudes de solape entre los tramos adyacentes, así como la orientación de los freos, han de ser las adecuadas para evitar, al menos parcialmente, la transmisión de la agitación a las áreas más abrigadas.

Con esta disposición se establece una específica separación de las diversas áreas de agitación, **canales amortiguadores, dársenas**, etc., pudiendo ser la agitación importante en los canales amortiguadores, mientras que en las dársenas interiores el abrigo es total. Ver esquema, figura 6.

En épocas de bonanza, que en nuestras latitudes coinciden, afortunadamente, con la temporada turística, los canales amortiguadores también pueden ser ocupados con fines portuarios y/o recreativos. Ver esquema, figura 7.

Este hecho es trascendental en muchas de nuestras costas, particularmente las mediterráneas, pues la bondad del clima permite el uso de estos canales amortiguadores como dársena temporal durante una buena parte del año, por supuesto en régimen de **alquiler**.

When the circumstances so require a great length of sea works, large overflow volume, etc. the structural elements of the Environmental System may be arranged in a discontinuous manner and divided in stretches separated by openings or inlets.

Where necessary these sections can overlap to prevent the transmission of short period gravity waves through the inlets, the overlaps being preferably arranged in continuous monotonous series, in alternating series (in quincunxes) or aleatoric series.

The spacing distance and length of overlap between adjacent stretches, as well as the orientation of the inlets, has to be such as to prevent, or at least partially prevent, the transfer of agitation to the more sheltered areas.

With this arrangement there is a specific separation of the different areas of agitation, absorbing channels, basins etc., and it is possible for the waters in the absorbing channels to be choppy while those of the internal basins are totally still. See layout in fig. 6.

In times of calm seas, which in this part of the world fortunately coincide with the holiday season, the absorbing channels may also be used for port and/or pleasure boat purposes. See diagram in fig. 7.

This fact is of great importance in many of our coasts, and particularly on Mediterranean coasts, where the benevolence of the climate allows the use of these absorbing channels as temporary basins for the greater part of the year, and obviously with their ensuing mooring fees.

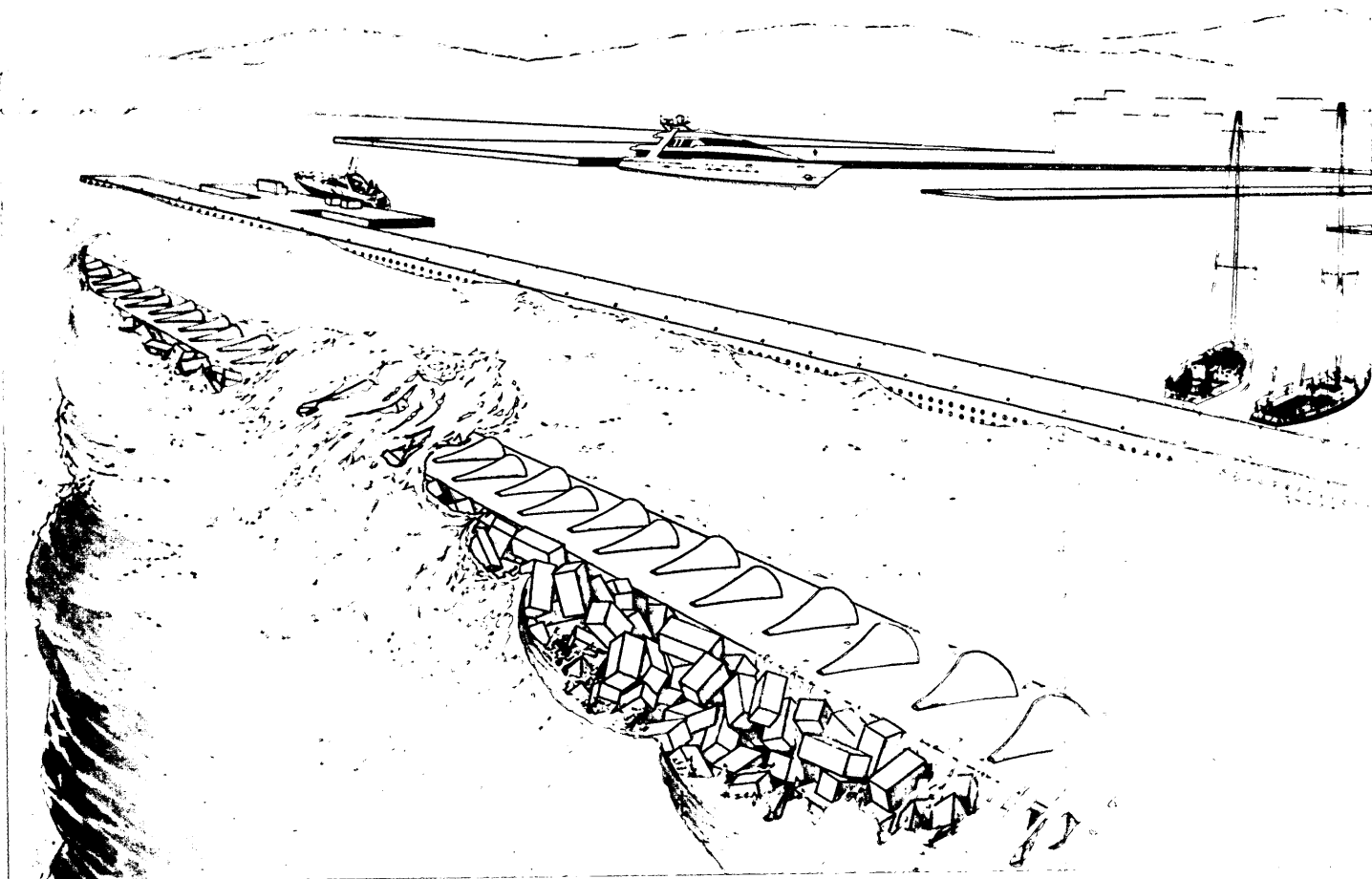


Figura 6. Esquema del Sistema Ambiental, secuencia portuaria. Temporal./
Figure 6. Layout of the Environmental System port arrangement. Storm weather.

En verano, numerosos aficionados, con sus embarcaciones remolcadas, llegan a la costa. Otros, cada vez más numerosos, prefieren tener sus embarcaciones en silos o aparcamientos fuera de temporada, para garantizar una buena conservación y un mantenimiento fácil.

A estos potenciales clientes se unen los navegantes de largos periplos, amantes de la vida tranquila e independiente, que recalán en puerto residiendo en la propia embarcación.

Todos ellos, que son muchos, carecen de puesto de amarre en propiedad, debiendo dejar su embarcación fondeada, si existe área de fondeo, o bien, cuando se trata de pequeñas embarcaciones, han de poner a flote cada día su embarcación, con la consiguiente pérdida de tiempo y molestias.

Disponer de puestos de atraque abundantes que permitan evitar todos estos inconvenientes puede ser muy interesante, aunque sea en régimen de alquiler. Esta disponibilidad puede ser lograda diseñando los canales amortiguadores de energía del Sistema Ambiental, como dársenas de temporada.

In summer, numerous pleasure boat owners come to the coasts with their vessels in tow. Many other owners prefer to keep their vessels in dry dock or in storage out of season in order to guarantee the conservation and easy maintenance of the same.

Together with these potential clients we can add circumnavigating yachtsmen, lovers of a quiet and independent life, who put into port and sleep in their own vessels.

All of these many users who lack their own mooring berth have to anchor their vessels when there is available anchorage or, otherwise, in the case of smaller boats, have to refloat their vessels each day with the ensuing loss of time and nuisance that this entails.

The provision of more abundant mooring berths, which avoid all these inconveniences, could be very worthwhile even when these are subject to temporary lease. This availability may be achieved by using the energy absorbing channels of the Environmental System as temporary basins.

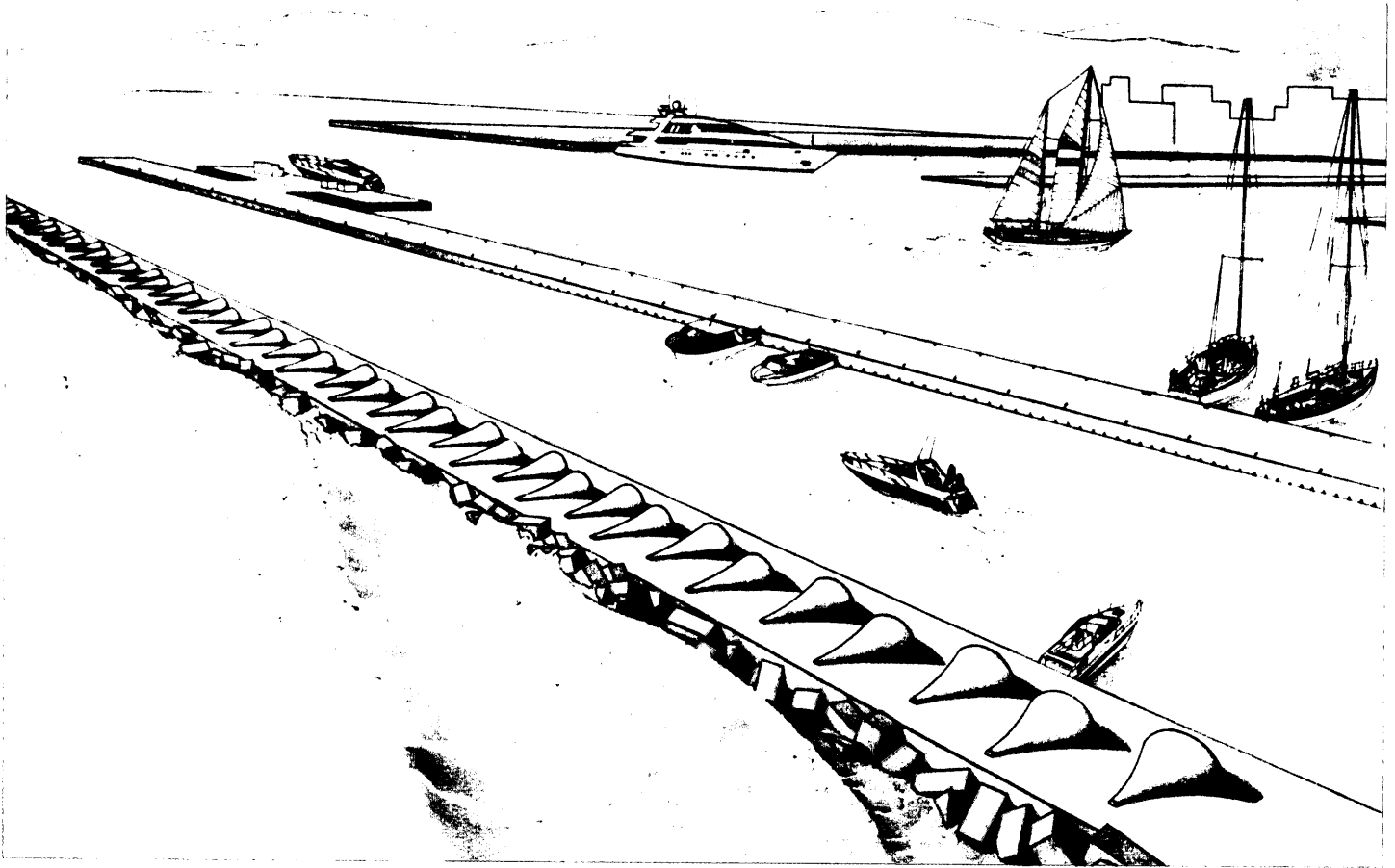


Figura 7. Esquema del Sistema Ambiental, secuencia portuaria. Bonanza./
Figure 7. Layout of the Environmental System port arrangement. Calm weather.

Los **ingresos** por este concepto son tan cuantiosos que pueden amortizar el costo de las obras (dique y muelle filtro) en el plazo de muy pocos años.

Consideramos que la multifunción de las obras es el procedimiento más razonable para aumentar su **rentabilidad**, mejorando en contrapartida la calidad constructiva, estética, etc. de las obras y la **oferta de servicios**.

De hecho siempre es posible conseguir una solución operativa del Sistema Ambiental, por muy altas que sean las características del oleaje, aumentando, en su caso, el número de elementos rebasables y/o permeables. Ello permite, siempre, conservar la libre circulación del aire en superficie y las vistas del mar, sin más barreras que las creadas por la propia naturaleza.

Estas **ventajas climáticas y panorámicas** son especialmente valoradas en la actualidad tanto por los ribereños como por los visitantes, pues tanto las vistas del mar como la existencia de las brisas caracterizan las más preciadas excelencias del borde marino y son las razones esenciales de su encanto.

The large income generated by the leasing of mooring berths could well offset the cost of the works (breakwater and filter wharf) within a very few years.

We feel that the multifunction of the works is a more rational procedure as it increases the yield of the harbour while providing greater construction and aesthetic quality, etc. of the sea works and a larger provision of services.

In fact it is always possible to achieve an operative solution of the Environmental System, regardless of the characteristics of the local swell, simply by increasing the number of overflowing and/or permeable elements. This always allows the free circulation of surface air and conserves sea views without placing any other barriers than those set by nature.

These climatic and panoramic advantages are particularly valued today by both those living on the waterfront and visitors alike, as both sea views and sea breezes form the most enhancing characteristics of the seashore and the essential reasons for its charm.

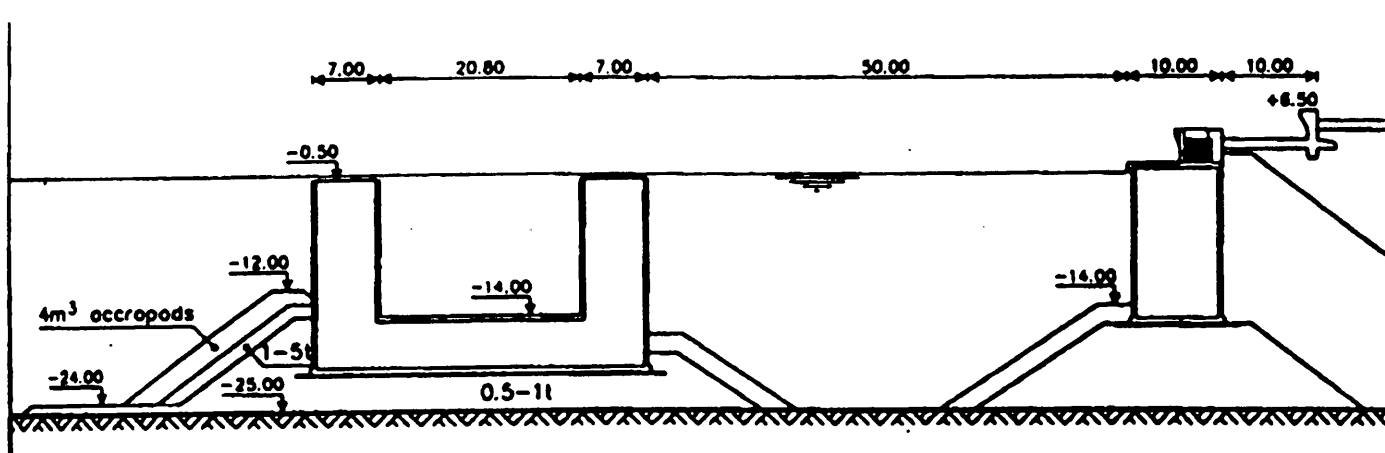


Figura 8. Sección puerto deportivo Beirut./Figure 8. Cross-section of Beirut Marina.

Por pequeña que sea la carrera de marea, incluso aunque sea nula, como en el Mediterráneo, con el Sistema Ambiental es posible **renovar el agua** de las dársenas, debido al efecto combinado del rebase y permeabilidad. Esto evita los problemas de sedimentación de fangos, acumulación de elementos flotantes y establecimiento de condiciones anaerobias, tan frecuentes en la actualidad en las áreas portuarias abrigadas con obras convencionales y tan indeseables como son tanto desde el punto de vista sanitario como estético.

Particularmente estas ventajas son apreciables en áreas urbanas, en donde el empleo de diques convencionales con cotas de coronación que generalmente rebasan los ocho metros y en ocasiones pueden superar los veinte, puede afectar a la casi totalidad de los residentes y usuarios del litoral.

Como ya señalamos con el Sistema Ambiental integrado, dissipador de energía multifase, se introduce el concepto de **sistema de abrigo**, en contraste con el concepto de obra de abrigo única, prevalente hasta el momento. Esto supone un nuevo modo de planteamiento del problema del abrigo, tanto para los nuevos diseños como para la ampliación, remodelación y restauración de las obras preexistentes.

El Sistema Ambiental, como es reconocido específicamente por la Administración americana y por la Oficina de Patentes Europea, se refiere a la disposición de las obras y no a sus elementos materiales, constructivos.

PUERTO DEPORTIVO DE BEIRUT

En el número 3.394 de Enero 2000 de la esta Revista de Obras Públicas, aparece un Artículo firmado por Vicente Negro Valdecantos y Ovidio Varela Carnero, en donde se describe una disposición de las obras para el puerto deportivo de Beirut consistente en una doble barrera de baja cota de coronación, formada con un gran cajón flotante cuya celda interior, denominada "patio", juega el papel de amortiguador de energía.

Como inmediatamente se deduce de la observación de la figura 3 de este Artículo, que aquí aparece como Figura 8, esta

No matter how small the tidal run, and even when this is null as in the case of the Mediterranean, it is possible to renew the water in the basins due to the combined effect of overtopping and permeability of the Environmental System. This prevents problems of mud sedimentation, accumulation of floating elements, and the creation of anaerobic conditions which are so common nowadays in sheltered port areas with conventional sea works and which are so undesirable from an aesthetic as well as a health point of view.

These advantages are particularly appreciable in builtup areas where the use of conventional breakwaters with crown heights well in excess of eight metres and on occasions of more than twenty metres, affect all those living in the area as well as those visiting the coast.

As we have already indicated, the multiphase energy diffusing integral Environmental System provides a harbour system that contrasts with the concept of a single sheltering sea work which has prevailed to this time.

This provides a new method of tackling harbour problems in new designs as well as when enlarging, reforming and restoring existing sea works.

The Environmental System, as specifically recognised by the American Administration and by the European Patent Office, refers to the arrangement of the sea works and not to the material and building elements of the same.

BEIRUT MARINA

In issue number 3,394 of January 2000 of this Revista de Obras Públicas, there appeared an article signed by Vicente Negro Valdecantos and Ovidio Varela Carnero, in which they described the arrangement of works for the Beirut Marina and which consisted of a double barrier of low crown height, formed by a large floating caisson in which the inner cell, or "stall" serves as an energy absorber.

As can immediately be seen from fig. 3 of said article, which is reproduced here as figure 8, this arrangement

disposición corresponde a un Sistema Ambiental con la secuencia

mar ■ agua ■ agua ■

en donde los dos elementos constituyentes del Sistema, del lado del mar, se comportan hidrodinámicamente como diques verticales, aunque desde el punto de vista de su estabilidad se encuentren ligados por la estructura material del cajón.

Este es el resumen del Comentario de la Dirección de la **European Patent Office**, Patent Laan2 2288 EE – Rijswijk, literalmente tomado del Fax del 16-03-2000:

“ su patente protege la disposición de la obra, no un determinado conjunto de materiales para construirlos, y desde luego la solución de Beirut se basa en la misma disposición con independencia de los materiales con que se construye.

De la descripción y reivindicaciones de la patente “Sistema Ambiental” se deduce que la invención se refiere a un procedimiento de disipación de energía multifase aplicable en la defensa de costas y en la formación de complejos portuarios y costeros, caracterizada por un posible conjunto de disposiciones de diques rebasables y/o permeables.

De aquí que cualquier otra combinación de los elementos estructurales descritos, **tendente a la obtención del mismo fin** o cualquier conjunción de elementos constructivos a emplear para materializar la obra, pudiera no ser idéntica a la que se describe en la patente, **quedaría incluida en el ámbito de su protección**, de no darse la presencia de actividad inventiva suficiente que excediera el marco de protección de la patente.

En el caso de la **sección tipo Marina Beirut**, claramente se combina lo protegido en la reivindicación de la Patente del “Sistema Ambiental” con consideraciones de diseño obvias para cualquier experto en la materia de diseño de diques.

El término **obvio** significa lo que no va mas allá del normal progreso de la tecnología, sino meramente se deduce directamente del estado del arte. El estado de arte que ha sido reconocido como tal en el **Informe de Búsqueda de la Oficina de Patentes** que concedió la patente es la única referencia objetiva”.

BIBLIOGRAFÍA

–Negro, V. y Varela, O. (2000) – Modelos conceptuales de prediseño e innovaciones tecnológicas en diques de abrigo – Revista de Obras Publicas no. 3394, pp. 21 a 35.

DOCUMENTACIÓN

–Bores, P.S. (1984) - Diques Escalonados. Patente 537141
–Bores, P.S. (1986) - Dique Arrecife. Patente 543747
–Bores, P.S. (1991) - Muelle Filtro. Patente 9102080
–Bores, P.S. (1992) - Sistema Ambiental. Patente 9201211 ■

corresponds to the Environmental System under the schematic layout

sea ■ water ■ water ■

in which the two component elements of the System on the sea facing side, hydrodynamically behave as vertical breakwaters, which for purposes of stability are arranged in the form of a caisson.

There follows a summary of the Comments issued by the European Patent Office, Patent Laan 2 2288 E Rijswijk, which has been literally taken from their fax of 16.03.2000:

“your patent protects the arrangement of the work, and not the specific group of materials to construct the same and **the Beirut solution is, of course, based on the same arrangement regardless of the materials employed in its construction.**

From the description and claims of the “Environmental System” patent it can be taken that the invention refers to a procedure for the dissipation of multiphase energy which may be applied to coastal defences and in the formation of port and coastal works, and characterised by a possible combination of arrangements of overtopping and/or permeable breakwaters.

As such, any other combination of the said structural elements which **attempts to obtain the same end** or any assembly of construction elements employed to form the work, even when not identical to that described in the patent, shall be included within the scope of protection if it fails to provide sufficient innovation which exceeds the framework of protection of the patent.

In the case of the **Beirut Marina crosssection**, this clearly combines what is protected in the Patent claim for the “Environmental System” with design considerations which **are obvious** for any expert in the field of breakwater design.

The term “obvious” means that which does not exceed normal technological progress, but which may be simply and directly deduced from the state of the art. The state of the art recognised as such in the Search Report of the Patent Office granting the patent is the only objective reference”.

REFERENCES

Negro, V. and Varela, O (2000) Conceptual models of predesign and technological innovations in harbour breakwaters Revista de Obras Públicas No. 3394, pages 21 to 35.

DOCUMENTATION

–Bores, P.S. (1984) Stepped Breakwaters. Patent 537141
–Bores, P.S. (1986) Reef Breakwater. Patent 543747
–Bores, P.S. (1991) Filter Wharf. Patent 910280
–Bores, P.S. (1992) Environmental System. Patent 9201211 ■