

Una aproximación a las investigaciones de Pedro Suárez Bores

ANTONIO LECHUGA ÁLVARO (*)

1. INTRODUCCIÓN

Como homenaje a la figura de Pedro Suárez Bores se nos presenta la oportunidad de tratar de ordenar sus estudios y sobre todo analizar las publicaciones más características para colocar su figura en el plano que sin duda se merece. Hay que tener en cuenta que muchos de los conceptos y muchas de las maneras de abordar la ingeniería marítima y costera en la actualidad tienen su origen en Pedro. Su papel revulsivo e innovador en los años sesenta del siglo pasado es casi legendario. Frente al tratamiento esencialmente monocromático del oleaje del gran Iribarren, Pedro supo ver los nuevos desarrollos que nos llegaban de fuera y que consistían, esencialmente, en la aproximación espectral del oleaje real. Ni que decir tiene que en esos años, su famosa publicación 4-B, "Introducción a la estructura del oleaje" causó estragos en la comunidad portuaria. Recuerdo en Junio de 1970 al entonces Director del Puerto de Valencia decir que la 4-B era chino manchú (dicho literalmente). Pues bien, al día de hoy, el menos estudioso de los portuarios se sorprendería si en las realizaciones y los cálculos que pasan por sus manos no se considerara la estructura espectral del oleaje. A esto último han colaborado muchos, pero el papel de ariete fue llevado a cabo por Pedro Suárez Bores.

Sus innovaciones, claro está, no se limitaron al oleaje sino que se extendieron por otros campos que iremos señalando entre los que destacaremos ahora sus estudios de playas.

Aunque aparecerá sin duda en otros trabajos de este monográfico es conveniente señalar que Pedro terminó la carrera de Ingeniero de Caminos en 1959 e ingresó en el Cuerpo en 1962. Prácticamente desde este año trabaja en el CEDEX, primero con Iribarren y a partir de 1967 con Casto Nogales. Desde finales de los sesenta hasta 1973 Pedro fue Subdirector del entonces llamado "Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren". En 1974 sigue siendo Subdirector y actúa como Director en funciones. En 1975 es nombrado Director del Laboratorio D. Jaime González Pérez y Pedro deja el CEDEX para incorporarse de pleno a La Escuela de Caminos de la que era profesor desde casi el inicio de su carrera profesional al comienzo de los años sesenta del pasado siglo.

Las publicaciones de Pedro Suárez Bores admiten diversas clasificaciones. Una clasificación relativamente cómoda sería ordenarlas por series según la entidad editora (por ejemplo, la serie B del Laboratorio de Puertos, las publicaciones de la Escuela, otras ediciones, etc.). Alternativamente se pueden ordenar por fechas, y esto nos daría una idea de su "trayectoria vital", o por sus contenidos dividiéndolas en grupos más o menos homogéneos (oleaje y su estructura, flotadores, estudios generales, formas costeras y playas, método multivariado y estructuras, etc). Esta última ordenación es la que seguiremos en este trabajo.

Por último se ha querido aprovechar la oportunidad que brinda este número monográfico para reproducir íntegramente

dos interesantes trabajos de Pedro, Ola de Cálculo (1968) y Acción del Oleaje Sobre las Estructuras Exteriores (1968). Ambos trabajos se encuentran anexados al final de este artículo.

2. ESTRUCTURA DEL OLAJE

Quizás la publicación de Pedro Suárez Bores donde mejor se refleja su visión conjunta de la manera moderna de abordar el tratamiento del oleaje real sea la ya citada "Introducción a la estructura del oleaje" Laboratorio de Puertos CEDEX 1967. Esta publicación prologada por Casto Nogales y Olano establece una síntesis de sus estudios en esta área y al mismo tiempo un índice de sus realizaciones futuras. El esquema es simple, claro y conciso. La publicación se divide en tres partes:

- Parte 1. Descripción del oleaje.
- Parte 2. Previsión del oleaje.
- Parte 3. Regímenes de oleaje y de temporales.

En la primera parte, en la Introducción, se abordan muy brevemente dos temas cuyo tratamiento era bastante común en los estudios anteriores a esta fecha en todo el mundo: la onda teórica y la generación del oleaje. Los estudios sobre la onda teórica eran clásicos y se habían desarrollado fundamentalmente en el siglo XIX. En España Iribarren y Casto Nogales habían trabajado en ella. Pedro se centra en el desarrollo de la onda infinitesimal de Airy, citando también la llamada onda cnoidal y la onda solitaria.

En el apartado 2 de esta primera parte aparece la "Descripción espectral del oleaje". Comienza con un estudio teórico basado en el análisis generalizado de Fourier y describe fundamentalmente el espectro de frecuencias con indicación de los espectros direccionales. Ejemplos de espectros reales y el cálculo del periodo óptimo completan este apartado.

En el apartado 3 Pedro aborda la "geometría estadística del oleaje" en un intento de conseguir los modelos de probabilidad tanto de la superficie libre como de la altura de ola. Para ello parte de los sucesivos "momentos" de la distribución espectral, cerrando, por tanto el círculo de la descripción del oleaje real. Como no podría ser de otro modo la función de distribución espectral es la de Rayleigh. El estudio teórico de dicha distribución da la serie de valores de las diferentes alturas del oleaje en función de una altura significativa que, generalmente, es la media del tercio de alturas más altas (cuadros 1.1 y 1.2 de esta publicación). Esto que hoy nos parece casi trivial, no lo era a mediados de los años sesenta del siglo pasado.

En la parte 2, "Previsión del oleaje", Pedro se esfuerza en la aplicación práctica de los apartados anteriores. Para ello en la Introducción, usando los conceptos de la acción del viento sobre la superficie líquida, llega a la definición de oleaje totalmente desarrollado, o, en caso contrario, de oleaje parcialmente desarrollado. Esto último, señala Pedro, puede producirse por estas tres alternativas:

1. Duración limitada. El Fetch mayor que el mínimo, pero el tiempo menor que el mínimo.

(*) Dr. Ing. De Caminos, Canales y Puertos, Académico correspondiente. CEDEX.

2 - DESCRIPCIÓN ESPECTRAL DEL OLAJE

2.1 - Espectro de energía del oleaje.

Sea $\zeta(\vec{x}, t)$ la función que representa el desplazamiento de la superficie líquida con respecto al nivel medio - oleaje - y $B(\vec{k}_1, \omega_1)$ su transformada de Fourier generalizada (TFG). Entonces

$$(1.5) \quad \zeta(\vec{x}, t) = \iiint B(\vec{k}_1, \omega_1) e^{-i(\vec{k}_1 \cdot \vec{x} - \omega_1 t)} d\vec{k}_1 d\omega_1$$

en donde $\vec{x}$ y $\vec{k}$ son la expresión vectorial del espacio y del número de onda respectivamente

$$(1.6) \quad \begin{aligned} \vec{x} &= (x, y) \\ \vec{k} &= \left(\frac{2\pi}{L} \cos \theta, \frac{2\pi}{L} \sin \theta \right) = \left(\frac{\omega^2}{g} \cos \theta, \frac{\omega^2}{g} \sin \theta \right) \end{aligned}$$

θ es la dirección de las ondas componentes y $\omega = 2\pi/T$ es su frecuencia.

Ya que la integración se extiende a la totalidad del espacio tridimensional definido por los números de onda ($\vec{k}$) y frecuencia (ω) una variación de ($\vec{r}$) en ($\vec{x}$) y de (τ) en (t) no tendrá efecto, por lo tanto en el punto ($\vec{x} + \vec{r}$; $t + \tau$) tendremos

$$(1.7) \quad \zeta(\vec{x} + \vec{r}, t + \tau) = \iiint B^*(\vec{k}, \omega) e^{i(\vec{k} \cdot (\vec{x} + \vec{r}) - \omega(t + \tau))} d\vec{k} d\omega$$

Haciendo entonces

$$(1.8) \quad \begin{aligned} \vec{k}_2 &= \vec{k} - \vec{k}_1 \\ \omega_2 &= \omega - \omega_1 \end{aligned}$$

la función de covariancia del oleaje vendrá dada por

FIGURA 1. Introducción de la descripción espectral del oleaje. Publicación 4-B. P. Suárez Bores.

2. El Fetch menor que el mínimo.
3. Tanto el Fetch como la duración son menores que el mínimo.

En cada caso la problemática es distinta pero el tratamiento es análogo. Finalmente Pedro siguiendo, fundamentalmente, a Bretschneider establece los valores significantes del oleaje en función del Fetch, de la duración y de la velocidad del viento (cuadro 2.1 de la publicación).

En su evidente deseo de dar un contenido práctico e esta publicación, Pedro estudia como determinar la velocidad del viento, y sobre todo, como calcular el fetch en casos singulares, con obstáculos aislados o conectados a la costa.

Finalmente dentro de esta Parte 2, Pedro introduce el espectro teórico de cálculo que resulta ser el llamado PMK (Pierson, Moskowitz, Kitaigorodskii).

En la parte 3 la publicación 4-B aborda los "Regímenes de oleaje y de temporales". Entendiendo por el primero el porcentaje de tiempo que la altura significativa excede cierto va-

lor en el año medio, y entendiendo por el segundo, la frecuencia de presentación de la altura significativa máxima que excede cierto valor. El primero es válido para estudios costeros y el segundo "esencial en el proyecto de las obras exteriores" (Suárez Bores). En esta parte 3 los ejemplos son de Saville en Cabo Cod y esto nos indica el convencimiento que tenía el autor de la necesidad de contar con datos propios.

En la publicación 5-B Ola de cálculo, 1968 también del Laboratorio de Puertos del CEDEX Pedro parte de la estructura del oleaje de la publicación que hemos comentado, pero hace hincapié en el estudio económico de las obras (diques de escollera) con lo que se aparta un poco del epígrafe que estamos tratando.

En los Apuntes de la Escuela de Caminos de 1964, "Estructura del oleaje" Pedro Suárez Bores trata los mismos temas que en la publicación 4-B pero con ejemplos más detallados. Aquí la parte A está dedicada a la descripción estadística, la parte B a la descripción espectral, la parte C a la previsión del oleaje y la parte D a los regímenes. Al ser estos

unos Apuntes de clase la claridad y la concisión no son tan evidentes como en la publicación 4-B. No obstante Pedro sigue interesado en las aplicaciones y con datos de uno y otro lado reconstruye ejemplos que ilustran la teoría.

Los Apuntes de clase de 1965, "Introducción a la estructura del oleaje" son, con algunas variaciones, equivalentes a la publicación del mismo título.

3. ESTUDIOS DE CARÁCTER GENERAL

Además de los estudios sobre oleaje que hemos comentado, Pedro acometió otra serie de estudios de carácter general en diferentes campos que pasamos a exponer a continuación:

Un trabajo titulado, "Notas sobre Mecánica de Fluidos" que constituye la publicación 1-B (1964) del Laboratorio de Puertos del CEDEX prologada por D. Ramón Iribarren Cavanillas y que es el conjunto de cuatro artículos bilingües español-ingles y que como señala D. Ramón forman una unidad. Los títulos respectivos son, "1. Expresiones generales del esfuerzo cortante tangencial en régimen laminar", "2. Expresiones generales 'exactas' del coeficiente de fricción medio en movimientos permanentes, régimen turbulento, contorno liso", "3. Expresiones explícitas 'aproximadas' del coeficiente de fricción medio en movimientos permanentes, régimen turbulento, contorno liso.", y "4. Espesor de la capa límite en régimen turbulento, movimiento permanente, contornos liso y rugoso."

El trabajo titulado, "Ecuaciones generales de la Atmósfera e hidrosfera" que es la publicación 2-B (1967) del Laboratorio de Puertos del CEDEX. Esta publicación está prologada por Casto Nogales y constituye, según este una introducción a la estructura del viento en las capas bajas de la atmósfera. Esta publicación tiene los siguientes capítulos, "Dinámica de los medios deformables sobre la superficie terrestre", "Dinámica de la Fluido-esfera", "Ecuaciones generales del movimiento horizontal sobre la superficie terrestre" y "Ecuaciones del movimiento plano sobre la superficie terrestre."

"Estructura del viento en las capas bajas de la atmósfera", publicación 3-B (1967) del Laboratorio de Puertos del CEDEX. En este trabajo Pedro se vuelve a manifestar como un estudioso convencido de que para calcular es necesario conocer en profundidad. Tras una introducción expone la forma simplificada de las ecuaciones del movimiento, y a partir de aquí la estructura del viento en la atmósfera libre, la estructura del viento en la capa límite superficial, incluyendo el perfil de velocidades sobre el mar y la estructura del viento en la capa límite planetaria. Finalmente aborda el estudio del viento en ráfagas, tan importante en la práctica marítima.

4. DINÁMICA DEL FLOTADOR

Pedro dedicó considerable esfuerzo al estudio del "flotador". Su idea estaba clara: Profundizar en su conocimiento, como medio para mejorar el diseño de las instalaciones portuarias de atraque. En una serie de cuatro publicaciones del Laboratorio de Puertos del CEDEX los estudia con detenimiento. En la primera de estas publicaciones, la 8-B (1969) "Acción del viento sobre estructuras y flotadores" se parte de las consideraciones que aparecen en una previa publicación sobre la estructura del viento en el mar. A continuación se incide sobre el efecto del viento en el flotador, teniendo en cuenta la superficie de obra muerta y viva y los coeficientes de arrastre. Como ya ocurriera en publicaciones anteriores un apartado está dedicado al viento de cálculo.

En la publicación 9-B (1969) "Dinámica del atraque de flotadores" se estudia el impacto del flotador sobre las defensas en el muelle de atraque. Pedro estudia el impacto teórico se-

gún la velocidad y el rumbo del flotador, pero también lo que llama el impacto de cálculo según las características del muelle y su vida útil.

En la publicación 10-B (1969) del Laboratorio de Puertos del CEDEX, "Dinámica del flotador en áreas restringidas" se estudian los efectos de la navegación en canales o en masas de agua limitadas o con poca profundidad. Esta publicación comienza con el estudio de las ondas de acompañamiento u ondas Kelvin, tanto en profundidades indefinidas como en profundidades reducidas.

Por supuesto el objetivo de todos estos estudios es el apuntado al comienzo del apartado.

En la publicación 11-B (1969) "Ordenación de vías navegables" Pedro se impone como objetivo 'el dimensionamiento tanto en planta como en alzado de las "vías navegables"- canales, accesos a los puertos, etc...' según sus propias palabras. Trata fundamentalmente de la maniobrabilidad de los flotadores, el círculo de parada, distancia de parada, sobre-ancho de canales, etc, etc para asegurar un correcto diseño.

5. FORMAS COSTERAS

Pedro Suárez Bores en su faceta de Ingeniero de Costas estudió todos los aspectos que interactúan en la franja litoral. Algunas de sus contribuciones fueron realmente novedosas y causaron notable impacto en el mundo técnico científico.

Entre las publicaciones dedicadas en una u otra medida a la franja litoral destaca la 12-B (1970) "Introducción a la dinámica de los sistemas dispersos" del Laboratorio de Puertos del CEDEX, que sienta las bases del movimiento de los materiales granulares no cohesivos. Es un estudio sobre las granulometrias, ángulo de rozamiento interno, sedimentación y coeficiente de arrastre, como base para posteriores estudios de estabilidad.

En una publicación de 1963, "Geomorfología oceánica" del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX Pedro trabaja sobre la edad y la composición de los océanos y sobre todo sobre el eustatismo y la isostasia del mar pleistoceno. Desde nuestros tiempos de estudiante todos recordamos el énfasis de Pedro sobre las variaciones del nivel del mar.

En el trabajo, Hidráulica y Procesos Litorales de 1963 se encuentran las bases de la actual Ingeniería de Costas. Así, por ejemplo, en el apartado de Hidráulica Litoral aparece la teoría de Longuet-Higgins sobre la longshore- current que, por supuesto es la actualmente aplicable al transporte de sedimentos. En la parte de Procesos Litorales aparecen consideraciones absolutamente actuales sobre la erosión y la acumulación, el transporte litoral e incluso la solución de playa apoyada en un espigón (según la ecuación de transmisión del calor). Como vemos, todo perfectamente actual. Termina este trabajo con un epígrafe sobre clasificación y evolución de la costa dependiendo de la regresión o transgresión marina.

Llegamos a uno de los aspectos más valorados de la actividad investigadora de Pedro Suárez Bores como es su Clasificación de formas costeras.

La clasificación de formas costeras aparece, al menos en cuatro trabajos de Pedro:

1. Clasificación de formas costeras. Revista de Obras Públicas 3158 Junio 1978.
2. Clasificación de formas costeras: Formulación y matriz de evolución. ROP 3163 Noviembre 1978.
3. Shore classification-simple forms with prevailing wind wave action. Int. Congress IAEG-AIGI Madrid 1978.
4. Formas Costeras. ETS ING Caminos, Canales y Puertos 1980.

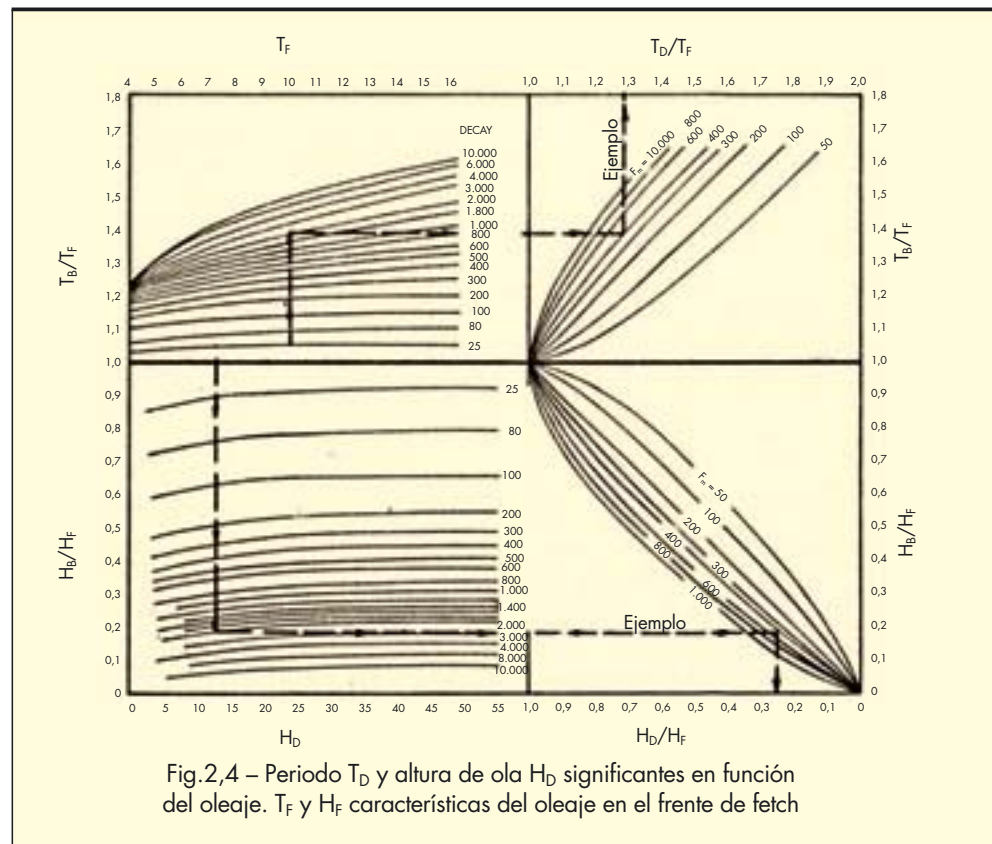


FIGURA 2. Grafico del cálculo del periodo y la altura del oleaje. Publicación 4-B. P. Suárez Bores.

Como muy bien expresa Pedro esta clasificación se refiere fundamentalmente a singularidades dinámicas y cuando el principal agente del modelado de la costa es el oleaje. Otro aspecto importante es que para cada playa es concebible una matriz de evolución de acuerdo con las variaciones naturales o antrópicas. En este texto de formas costeras Pedro estudia lo que llama las “Formas costeras de erosión” (fundamentalmente los acantilados) en contraposición a las “Formas costeras de depósito”.

6. DISEÑO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

Este es otro de los aspectos básicos de los estudios de Pedro. Ha dedicado mucho tiempo, esfuerzo y talento al diseño y cálculo de las estructuras marítimas introduciendo los estudios económicos. Ya en la publicación 5-B “Ola de cálculo” aparece un apartado 1.4 Estudio económico de las obras sometidas a la acción del oleaje y dentro del mismo un subapartado 1.4.4. Influencia del valor de los bienes defendidos por la obra. Simplemente con la consideración de estos títulos queda clara cual es la filosofía de Pedro en estos temas.

En la publicación 7-B (1968) “Acción del oleaje sobre las estructuras exteriores” del Laboratorio de Puertos del CEDEX se estudia el efecto del oleaje sobre pilas cilíndricas pero considerando separadamente la onda monocromática del oleaje espectral. Pedro estudia, así mismo, la interacción de varios cilindros y su cálculo dinámico. Los efectos sobre tuberías submarinas también son estudiados.

En los Apuntes de clase Oleaje I/II del Curso 1969/70 aparece como título el “Análisis económico de las obras y estructuras sometidas a la acción del oleaje” con dos desarrollos completos “Análisis económico de obras rígidas” y Análisis económico de obras deformables”.

Llegamos finalmente al trabajo más querido por Pedro: Sistemas aleatorios multivariados de diseño o como lo había llamado recientemente Método sistémico multivariado.

En el texto “Obras marítimas exteriores. Análisis de fiabilidad de los sistemas de diseño” 1980 ya aparece como subtítulo Sistemas aleatorios multivariados de diseño. En este texto se analiza la fiabilidad global de los diques verticales y de los diques de escollera determinando las “hipersuperficies” críticas de fallo parcial o total.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha intentado repasar los trabajos de investigación de Pedro Suárez Bores, partiendo de sus publicaciones. En primer lugar cabe destacar que desde el comienzo de su actividad profesional Pedro ha sido un estudioso y un pionero, introduciendo por primera vez en nuestro país procedimientos y tecnologías que, sin exageración, cambiaron la manera de tratar los temas de la ingeniería marítima. Probablemente el paradigma de lo anterior lo constituye su publicación 4-B “Introducción a la estructura del oleaje”.

Otro aspecto a destacar de Pedro es su labor de magisterio, por lo que se puede decir que toda la comunidad marítima y costera le debe algo.

Pedro publicó muchas más cosas de las que hemos reseñado pero, creemos, que las que han “sentado doctrina” están señaladas. Su trabajo más reciente, El método sistémico multivariado, merecería un análisis riguroso y pormenorizado, pero esto se lo vamos a dejar al propio Pedro, ya que en este mismo número aparece la versión revisada y puesta al día por el autor. Sirva esto como un postrer homenaje de admiración y cariño.

8. BIBLIOGRAFÍA

Suárez Bores, P. Notas sobre Mecánica de Fluidos. 1- B (1964) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Ecuaciones generales de la Atmósfera e hidrosfera. 2-B (1967) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Estructura del viento en las capas bajas de la atmósfera. 3-B (1967) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Introducción a la estructura del oleaje 4-B (1967) Laboratorio de Puertos CEDEX.

Suárez Bores, P. Ola de cálculo. 5-B (1968) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Acción del oleaje sobre las estructuras exteriores. 7-B (1968) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Acción del viento sobre estructuras y flotadores. 8-B (1968) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Dinámica del atraque de flotadores. 9-B (1968) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Dinámica del flotador en áreas restringidas. 10-B (1969) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Ordenación de vías navegables. 11-B (1968) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Introducción a la dinámica de los sistemas dispersos. 12-B (1968) Laboratorio de Puertos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Geomorfología oceánica. (1963) Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Suárez Bores, P. Estructura del oleaje (1964) ETS de Ing. Caminos, Canales y Puertos.

Suárez Bores, P. Hidráulica y Procesos Litorales (1963).

Suárez Bores, P. Clasificación de formas costeras (1978) Revista de Obras Públicas 3158, Junio 1978 pp.431-445.

Suárez Bores, P. Clasificación de formas costeras: Formulación y matriz de evolución. (1978) ROP 3163 Noviembre 1978 pp. 855-866.

Suárez Bores, P. Obras marítimas exteriores. Análisis de fiabilidad de los sistemas de diseño(1980) ETS Ing. Caminos, Canales y Puertos.

Suárez Bores, P. Formas Costeras.(1980) ETS Ing. Caminos, Canales y Puertos.

Suárez Bores, P. Apuntes de clase Oleaje I/II del Curso 1969/70 (1976) ETS Ing. Caminos, Canales y Puertos.

Suárez Bores, P. Shore classification-simple forms with prevailing wind wave action. (1978) Int Congress IAEG-AIGI Madrid.

Suárez Bores, P. Análisis aleatorio multivariado: Terminología y conceptos básicos. (1977) ROP 3151 Nov. 1977 pp 831-836.

Suárez Bores, P. Sistemas aleatorios multivariados de estabilidad: aplicación a las obras marítimas (1979) ROP 3168 Abr. 1979 pp. 257-262.



Dragados y Obras Marítimas

DRAVOSA

Más de 100 millones de m³ dragados en puertos y costas

DRAVOSA En todo tipo de materiales
Con toda clase de equipos

Plaza de Castilla, 3. 21 A • 28046 Madrid, España • Tel.: +34 91 323 02 07 • Fax: +34 91 323 06 87 • info@dravosa.com