

El problema de la defensa y regeneración de costas en España (*)

Por Victoriano FERNANDEZ DUPUY
y Vicente NEGRO VALDECANTOS

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

INTECSA, Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos, S. A.

El proceso de degradación del litoral tiene causas conocidas así como soluciones viables, que en su aspecto técnico se analizan en el artículo, en relación con la influencia del oleaje, transporte litoral, ángulos de equilibrio costero, perfil de playa, realimentación y rellenado.

Las costas están sufriendo de forma natural y permanente un fenómeno de degradación, que se ha visto aumentado y acelerado en los últimos años, y en especial en España por la presión urbanística-turística y las obras generadas por esta demanda.

Este problema que afecta principalmente a los tramos costeros de playa, requieren de un adecuado análisis y una correcta legislación y planificación futura que, sin frenar necesariamente la demanda, permita evitar o reducir la presión de ésta, buscando soluciones administrativas y técnicas que defiendan las zonas sin degradar y regenerar las zonas ya degradadas.

Para conocer el problema es necesario dar un breve repaso a las causas básicas del mismo y así se podrá saber la mejor forma de actuar. Estas causas básicas podrían agruparse en los siguientes epígrafes:

a) Naturales:

- Oleaje, corrientes, mareas, viento, que en múltiples casos producen arrastres y erosiones costeras, buscando permanentemente el equilibrio de la naturaleza.
- Sobre elevación secular del nivel medio del mar que está produciendo lenta pero permanentemente una invasión marina de las zonas costeras especialmente las bajas (playas, marismas etc.).

- Desertización y sequía que rompe el ciclo de realimentación costera por aporte fluvial de arrastres sólidos de origen terrestre.

b) Generadas:

- Ocupación de la franja costera en general por presiones turísticas, urbanísticas o industriales.
- Extracción masiva de materiales (arenas, gravas) que rompe el equilibrio natural en algunas zonas.
- Construcción de obras, tanto costeras (puertos, diques, etc.) como fluviales (presas, desvíos) que olvidando el mecanismo de aportación natural de materiales lo interrumpen al crear barreras integrales al transporte sólido litoral o fluvial.

Conocidas las causas principales del problema resulta más fácil analizar las posibles soluciones al mismo.

Estas pueden agruparse en dos apartados básicos.

1. Administrativas o legales

Planificando y regulando adecuadamente las nuevas actuaciones, tanto controlando la ocupación y uso costero, y no necesariamente negándolo, pero siempre exigiendo la no alteración o bien la restitución del equilibrio natural (bypasses artificiales, realimentación, etc.).

2. Técnicas.

Estudiando y desarrollando las obras necesi-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1988.

rias para defender aquellos tramos de costa que puedan sufrir degradación futura (natural y/o generada), o para regenerar aquellos otros que ya la hayan sufrido.

A este segundo tipo de soluciones es al que nos referimos en la presente exposición, planteando inicialmente tipos básicos de actuaciones posibles, y explicando a continuación los medios y estudios que es necesario aportar para seleccionar la actuación o solución más adecuada a cada caso.

Los tipos de actuación para la defensa y/o regeneración de playas consisten básicamente en cuatro:

- Interferencia al transporte litoral.
- Modificación de las acciones incidentes (oleaje, corrientes).
- Aportación artificial de arenas.
- Estabilización de zonas arenosas frente a la acción eólica.

a) Interferencia al transporte litoral.

Consiste este tipo de actuación en crear barreras artificiales al transporte sólido, generalmente consistente en espigones perpendiculares a la costa. Por este motivo su aplicación debe ser muy cautelosa ya que lógicamente puede provocar erosiones aguas abajo de dicha barrera.

Por ello su aplicación como medio de regeneración es aconsejable cuando existiendo un transporte litoral importante, éste se pierde en sumideros naturales existentes (cañones submarinos, desembocaduras de ríos, playas seguidas de acantilados profundos).

Asimismo resulta aplicable cuando se quiere retener una aportación artificial de arenas para regeneración que en caso de no disponer de una barrera, podrían ser arrastradas por las condiciones físicas locales.

b) Modificación de las acciones incidentes.

Este tipo de actuaciones consiste en crear obras de defensa que eliminen o modifiquen la incidencia sobre la costa, principalmente del oleaje, reduciendo o haciendo desaparecer el arrastre sólido de un transporte litoral.

Generalmente consiste en obras paralelas a la costa emergidas o sumergidas que frenan y orientan en otras direcciones la energía del oleaje y/o corrientes, estabilizando así la línea de costa existente o regenerada, sirviendo a su vez de apoyos de pie de playa.

c) Aportación artificial de arenas.

Las actuaciones de este tipo son las que estéticamente alteran menos la naturaleza ya que consisten únicamente en aportar arenas bien sea hidráulicamente (origen marino) o mecánicamente (origen terrestre) distribuyéndola a lo largo de un tramo de costa a regenerar.

Su aplicación resulta muy aconsejable en aquellas zonas donde la incidencia de las acciones naturales (oleaje, corrientes) es sensiblemente normal a la costa y por lo tanto es previsible un transporte sólido litoral bajo o nulo.

En caso contrario es aconsejable combinar este tipo de soluciones con algunas de las anteriores o bien prever una realimentación periódica futura del tramo de costa, bien por retroalimentación (barrera al final del tramo y vuelta al origen de las arenas transportadas) o por realimentación periódica directa (hidráulica o mecánica).

d) Estabilización frente a la acción eólica

Este tipo de actuación va encaminada a defender zonas arenosas costeras tipo dunas, generalmente mediante la reducción o eliminación de la acción del viento (barreras naturales o artificiales) preferiblemente a las de fijación (obras rígidas o plantación).

No resulta fácil encajar soluciones estéticamente aceptables a la vez que viables técnica y económicamente. Por tanto, la elección de la alternativa para el proyecto definitivo pasa por un prisma amplio de reflexiones basadas en la repercusión económica, la protección contra la erosión, la revalorización de la fachada litoral, creación de un espacio nuevo, deterioro de la fauna y flora, alteración de la dinámica litoral, que hacen que la tarea como proyectista sea compleja y difícil, exigiendo unos medios y recursos amplios y adecuados si se desea obtener un resultado satisfactorio y no contraproducente.

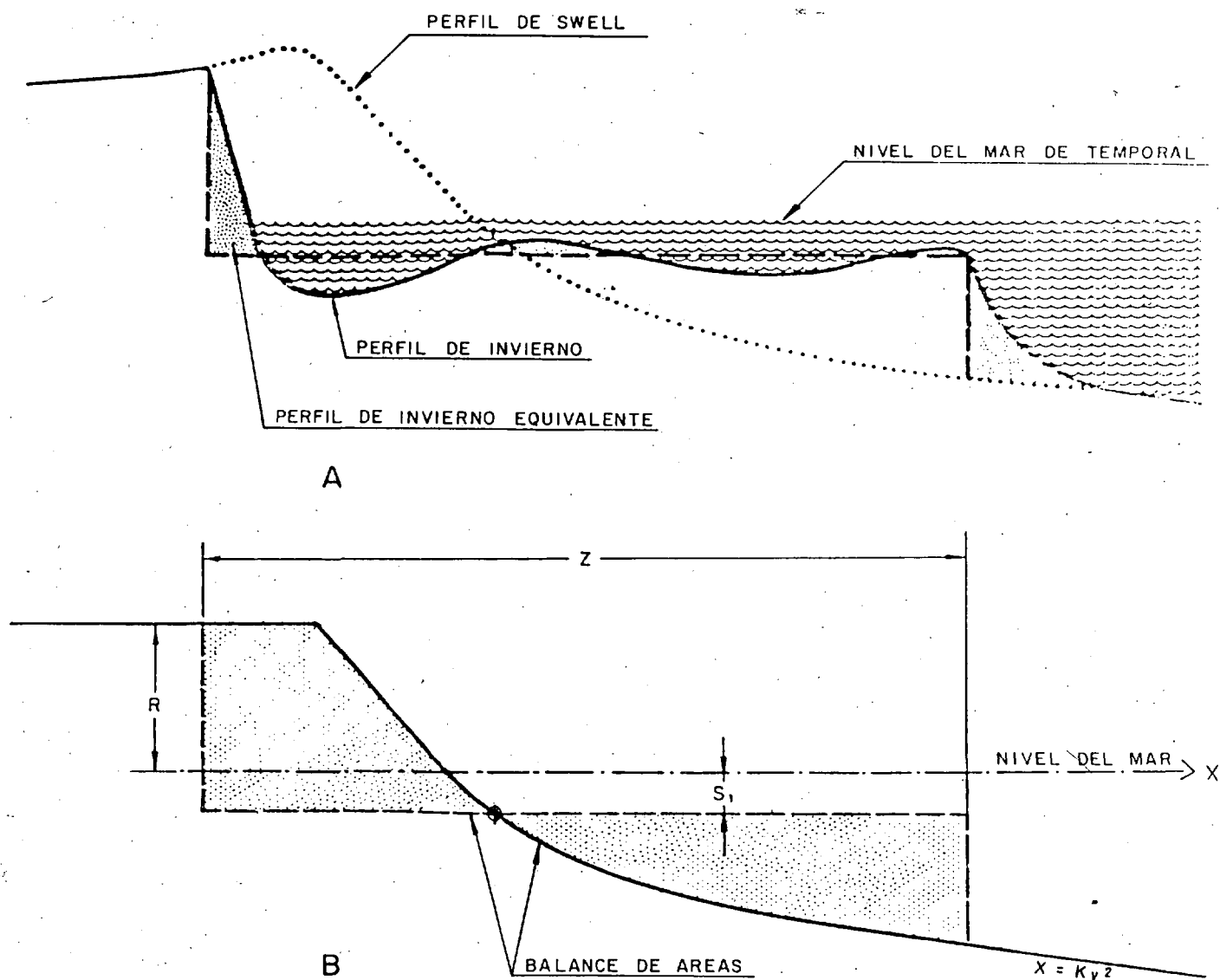


Figura 1.—Perfiles de playa según Sitarz.

Las técnicas utilizadas para desarrollar estos trabajos y los medios empleados pueden agruparse en dos campos fundamentales:

- 1) Recopilación de la información de campo.
- 2) Análisis y estudios de gabinete.

La información de campo que es necesario recopilar para un adecuado conocimiento de las condiciones locales se refiere básicamente a los siguientes datos:

- Topografía y batimetría.
- Geología, geofísica y geotecnia.
- Oleaje, corrientes, mareas y vientos.

Tras un completo análisis de los datos existentes en la zona, fotografías y batimetrías an-

teriores, información recogida de personas del lugar... comienza un compleja tarea que permite la elaboración de una base de partida con un abundante número de datos que facilite el estudio y desarrollo del proyecto. Para ello, se desarrolla un trabajo topográfico consistente en una planimetría o establecimiento de red básica, una altimetría o definición de los desniveles de vértices, un sistema de coordenadas de cálculo, un enlace planimétrico y altimétrico y unas tablas de mareas con relación a un puerto cercano.

Completando este trabajo y con un replanteo en zona de playa se realiza un levantamiento ba-

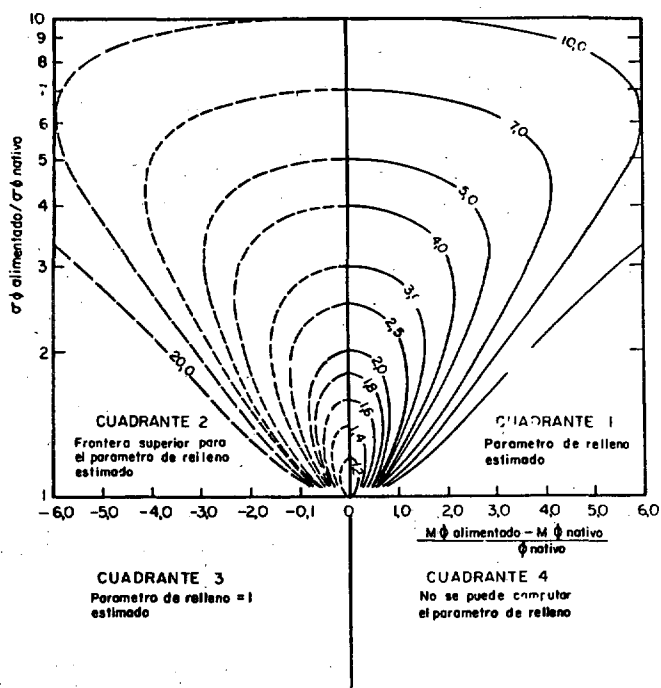


Figura 2.—Isolineas de $R_{critico}$ de rellenado de Krulmbrein-James (1965)

timétrico con perfiles paralelos y perpendiculares a la costa y cuya situación se determina utilizando medios convencionales mediante bisección o modernos equipos de radioposicionamiento automático que integrados con la ecosonda permiten obtener elevados ratios de productividad y precisión.

Elaborado el estudio batimétrico, se efectúa un taquimétrico de la playa seca hasta la primera línea de instalaciones y edificaciones y una toma de muestras en playa seca, zona de rompiente y determinada profundidad que convenientemente procesadas y analizadas en laboratorio, permitirán analizar el equilibrio y la estabilidad morfodinámica de la futura playa a regenerar.

Los datos relativos a la geología de la zona se refiere únicamente a la localización de materiales para la construcción de las obras, puesto que desde el punto de vista costero el aspecto más interesante es el geomorfológico y no el geológico.

En otras ocasiones, los trabajos de campo están destinados a la localización de préstamos marinos de arena de posible aplicación en la realimentación futura. Para la determinación de la potencia de sedimentos recientes, susceptibles

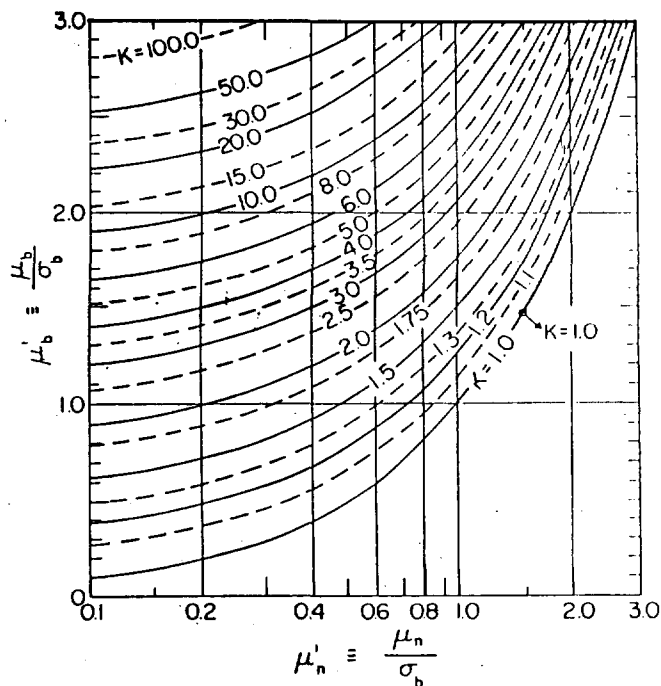


Figura 3.—Isolineas del factor de rellenado de Dean (1974).

de ser empleados en la regeneración y/o realimentación futura se emplean métodos geofísicos de alta resolución, entre los que podemos citar los equipos de UNIBOOM y perfiladores de fondo (3,5 KHz) que nos permite definir la estratigrafía del terreno desde la capa superficial hasta unas penetraciones aproximadas de 50 mts. La morfología del fondo se determina mediante sonografías registradas por equipos de sonar de haz lateral completado por una intensa toma de muestras superficiales. Estas campañas permiten obtener una información preliminar en una gran zona de estudio con objeto de recomendar posibles zonas de préstamos que deben ser investigados en profundidad con equipos tomamuestras de al menos 3 a 5 metros de penetración en el terreno (Vibrocores).

Como base para la elaboración de los estudios de gabinete es necesaria la recopilación de datos que definan lo más precisa posible la climatología marina de la zona, para lo que se utilizan fuentes de datos internacionales y nacionales ya que la mayor parte de las veces se hace inviable la realización de una campaña de toma de datos que por su duración e intensidad pueden superar en plazo y coste el objetivo del proyecto y por lo tanto la puesta en mar-

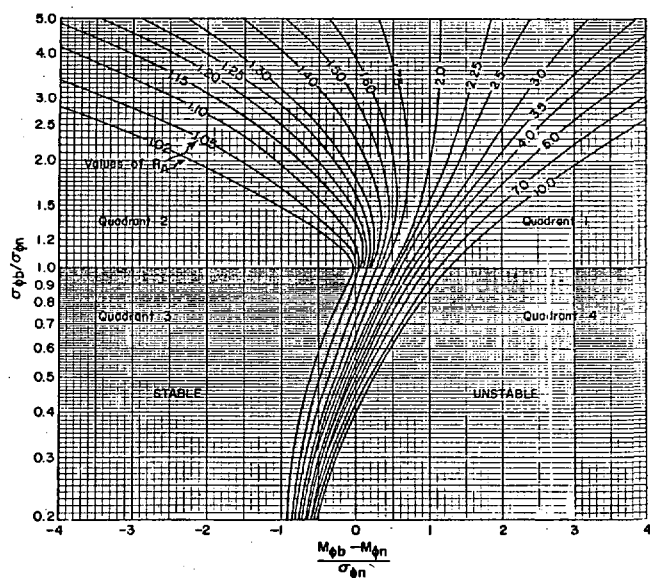


Figura 4.—Isótopas del factor de relleno R_A (James 1975).

cha de las posibles soluciones de regeneración. No obstante con una adecuada planificación costera podría ser posible abordar gradualmente la toma de datos complementarios a los existentes, que permitieran establecer las bases para conocer en profundidad la dinámica litoral de nuestras costas, datos tales como el oleaje direccional incidente, la corriente longitudinal inducida por el oleaje en la costa, la circulación general de las corrientes en la zona de estudio, carreras de mareas y velocidades de corrientes asociadas, vientos, etc.

En la actualidad existen equipos muy sofisticados tales como los correntímetros electromagnéticos, las boyas direccionales, estaciones meteorológicas, sensores de presión, etc. que permitirían racionalizar al máximo la campaña de toma de datos adecuada a cada proyecto, que unidos a los métodos de análisis facilitaría la cuantificación e interpretación de los fenómenos presentes en la dinámica litoral.

INTECSA dispone de una amplia experiencia en este tipo de trabajos, así como de personal especializado y equipos tales como radioposicionamiento, ecosonda, equipos geofísicos, sonar de haz lateral y en lo referente a equipos oceanográficos se dispone de una amplia variedad de los mismos, boyas de oleaje, correntímetros, mareógrafos, estaciones meteorológicas, loca-

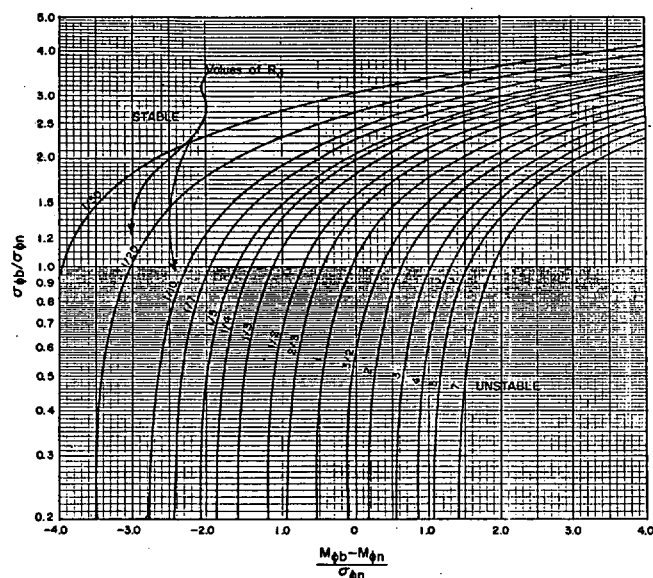


Figura 5.—Isótopas de Realimentación de James (1975).

lizadores acústicos, etc., que cubren con amplitud cualquier necesidad que pueda presentarse en lo referente a una investigación submarina u oceanográfica, necesaria para la aplicación a sus proyectos.

Con esta abundante recopilación de información de campo se puede abordar la difícil tarea del análisis de gabinete.

Los agentes motores del movimiento de la partícula sedimentaria son el oleaje (corrientes, mareas) y el viento, que actúan directamente modificando el movimiento de la mezcla turbulenta agua-sedimento y facilitarán el desplazamiento de la misma. Este hecho condiciona que tras los trabajos previos de la toma de datos y localización de préstamos de arena, sean necesarios el desarrollo de amplios ANALISIS Y ESTUDIOS DE GABINETE que contemplen las acciones básicas, oleaje, corrientes y mareas y la extrapolación de los resultados a los procesos litorales, transporte longitudinal y transversal de sedimentos, ángulos de equilibrio de playas, influencia de los abrigos naturales o artificiales, perfiles de playa y volúmenes para realimentación y relleno periódico.

A) Oleaje

Una vez recopilados los datos, bien de las diferentes fuentes existentes, barcos en ruta, Ser-

vicios Meteorológicos, bien de boyas registradoras de oleaje próximas a la zona se procede a la extrapolación de los mismos para la obtención de porcentajes de tiempo que una altura de ola es excedida en un año medio, o establecer regímenes de temporales que permitan obtener la altura de ola de cálculo y su riesgo de presentación. Este hecho conduce a la obtención de unos regímenes escalar y direccionales en alta mar, que permitan determinar direcciones y cuantificaciones de transporte litoral y un régimen extremal, obtenido en general mediante métodos estadísticos (Copeiro, Gumbel, Weibull, Frechet) que posibiliten la obtención de una altura de ola de cálculo para el diseño dentro de un riesgo admisible de una determinada estructura marítima de protección costera.

Para el desarrollo de estos estudios, se dispone de varios instrumentos imprescindibles actualmente. Estos son:

- Registros magnéticos de fuentes de datos disponibles a nivel internacional.
- Programa de análisis estadístico para obtención de los regímenes direccionales y escalares medios y extremos.
- Programa de propagación del oleaje, refracción shoaling, necesarios para analizar la propagación de alta mar a la costa (REFROLE) e incluso la difracción-reflexión (AGITA, SB 21) que permite estudiar la influencia de los abrigos naturales o artificiales.

B) Transporte Litoral

Las herramientas actuales de que dispone el ingeniero para cuantificar el transporte litoral son, una consistente en los clásicos modelos físicos de fondo móvil y otra la más actual de los modelos matemáticos o numéricos de evolución.

La teoría utilizada en estos últimos está basada en la influencia del oleaje sobre la corriente longshore, consistente en la integración de la ecuación de divergencias del tensor de radiación en zonas de rompientes, según la teoría de Longuet-Higgins, Bowen y Leblond.

Estas formulaciones permiten definir el transporte total, incluyendo en él, el efecto inciden-

cia oblicua, sobre elevación y variación del ángulo de rotura.

Esta primera aproximación es suficiente para predecir el comportamiento de una unidad fisiográfica sometida a un oleaje en rotura con un ángulo de incidencia variable en relación a las batimétricas y para una granulometría de arena determinada.

Existe una amplia gama teórica de modelos de evolución, que partiendo del inicial de Pelnard-Consideré, que analiza sólo playas rectilíneas de batimétricas paralelas, pasa por el de Lepetit y Willis que introducen ya el efecto de refracción, el de Leblond que ya plantea lo que ocurre al resguardo de los salientes naturales, obras y diques, o el de Mc Perlin que introduce un esquema en diferencias divididas para combinar el efecto expansión frontal, lateral y efecto barrera. Sin embargo la formulación más utilizada está basada en la ecuación de Bagnold-Inman y Komarol:

$$Q = AH_b^{5/2} \sin 2X_b$$

donde: Q es el transporte en m³/año, H_b altura de ola en rotura y X_b el ángulo de rotura entre el frente de onda y la batimétrica.

Castanho del Laboratorio de Ingeniería Civil de Lisboa propone un modelo integrado para zonas donde el número de Iribarren se sitúa en zona de rotura por oscilación o voluta (spilling y plunging), disponiendo una energía por rozamiento y distinguiendo entre el arrastre y la suspensión.

Se ha desarrollado un modelo en el que variando el ángulo de la playa, el ángulo en rotura del frente, la altura de ola y la frecuencia de presentación de la misma se cuantifica el transporte longitudinal de la unidad fisiográfica.

C) Angulos de Equilibrio

Asimilar la configuración de la línea de costa a una curva geométrica es riesgoso y puede parecer carente de rigor científico. Es práctica habitual entre los ingenieros costeros el ajustar dichas figuras a playas de transporte impedido, o enclavadas entre barreras largas, impermeables e irrebasables; es decir, integrales.

Las teorías de arcos de círculos (Hoyle y King

1958), cicloides (Bruun 1953) espirales logarítmicas (Yasso 1970) y espirales logarítmicas de ángulo constante (Sylvester 1974; Garau 1984) han sido comúnmente admitidas por los investigadores de este campo.

En la actualidad están en fase de desarrollo modelos mixtos arena-fluido en línea de rotura que intentan cuantificar los transportes sólidos de ambas direcciones, ($q_i +$; $q_i -$) de forma que los puntos de transporte nulo automáticamente definen la línea de equilibrio de la costa.

Intecsa en tanto no estén completamente desarrollados (calibrados y sancionados por la práctica) los modelos mixtos antes descritos, utiliza en sus diseños en planta la teoría de las curvas de vaciado de ángulo constante, espirales logarítmicas donde dicho ángulo coincide con el ángulo de rozamiento interno de la arena desarrollada y comprobada por Garau para playas españolas del Mediterráneo.

D) Perfil de Playa

El peralte o relación altura de ola/longitud de onda en profundidad indefinida es el parámetro básico en la clasificación del perfil H_o/L_o marca la distinción entre un perfil de verano, de acumulación, reflejante; y un perfil disipativo, erosivo, de invierno.

Esta variación entre un perfil en barra típico de los temporales invernales en las costas españolas y un perfil de acumulación en berma es el problema capital de la ingeniería costera. La cuantificación de la anchura de playa y los metros perdidos en invierno que tanto preocupan a alcaldes y ayuntamientos, se pueden dimensionar mediante diversos modelos transversales que manejan parámetros de la partícula sólida. Estos modelos son innumerables y se pueden aplicar dependiendo del tramo de costa a considerar.

Dean y = $K x^n$ Golfo de Méjico.

Sayao y = $0,082 x^{0,633}$ Costas Sur de U.S.A.

Larras y/ I_o = $K (X/L_o)^m$ Costas Mediterráneo.

$K = h_o/I_o + 0,039 D^{1/2} / q - 0,05$

$m = 11,5 h_o/L_o + 0,0275 I/q^{1/3} - 0,05$

Sitarz $X = ay^2 + X_o$

$$a = \frac{0,95}{q^{1/2} D h_o^{3/2}}$$

43,5 modelo para invierno.

$$X_o = \frac{A_1 h_o^{1/2}}{q^{1/2} D^{1/2}}; A_1 \quad 66 \text{ modelo para verano.}$$

75 en la naturaleza.

Existe un amplia gama de perfiles, Velinga (1984) Sunamura y Horikawa, Fiedman, Garau que permiten cuantificar la evolución futura de la playa a crear.

E) Realimentación y Rellenado

La arena a aportar en una playa que se estabiliza y regenera reúne características diferentes a la originalmente existente en la zona, de forma que su posible comportamiento ante los agentes del clima marítimo sea diferente a la nativa. Para estudiar este efecto la Ingeniería de Costas tiene las herramientas de las isolíneas de realimentación y rellenado.

Empleando la escala WENWORTH de unidades ϕ ; $\phi = \lg 2 D(\text{mm})$ se definen los parámetros estadísticos de la muestra original (media y variante) y de la arena nativa suponiendo que ambas funciones de distribución son lg-normal. Con estos valores, Krumbein-James, Dean, James y Willminton han desarrollado un modelo matemático que es el que utilizamos, que mediante isolíneas de rellenado y realimentación permite determinar el comportamiento de la arena de préstamo ante el oleaje y compararla con la nativa definiendo su grado de estabilidad, y cuantificando la realimentación periódica que garantice el correcto funcionamiento futuro de la playa.

Habiendo definido todos estos parámetros de gabinete resultado de una completa toma de datos de campo (batimetría, geofísica y toma de muestras), se aborda la complicada tarea de estudiar y dimensionar diversas alternativas de diseño, ya descritas anteriormente, que permitan seleccionar la más idónea para su desarrollo como proyecto y obra.

Como conclusión de esta exposición cabe citar un ejemplo que recoge los diversos tipos de

actuación aquí expuestos y que ha exigido la aplicación de las técnicas antes descritas.

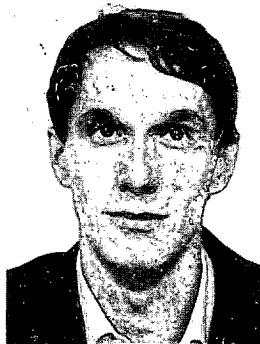
Nos referimos a las actuaciones actuales y en proyecto sobre el tramo costero de Barcelona que incluye soluciones del tipo interferencia al transporte litoral (playa de la Barceloneta), mixtas de interferencia, modificación de la incidencia del oleaje y realimentación de origen terrestre (playas de Poble-Nou, Somorrostro y Marbella) o soluciones puras de realimentación en este caso hidráulica (playas de Maresme).

Victoriano Fernández Dupuy



Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor de Puertos e Ingeniería Portuaria desde 1977 hasta 1982. Ha participado en diferentes trabajos e investigaciones con diferentes Organismos Mundiales y laboratorios de reconocido prestigio. Es, en la actualidad, jefe del Área Marítima de Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos, S. A., INTECSA.

Vicente Negro Valdecampos



Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha realizado cursos de postgraduado en la misma Universidad. En la actualidad es profesor de Puertos de la Escuela de Ingenieros de Caminos e Ingeniero de Proyectos Marítimos de INTECSA.

