

# Estudio de la dinámica litoral de la playa de la Barrosa, Chiclana (Cádiz)

ANTONIO LECHUGA ALVARO (\*)

**RESUMEN.** En este artículo se estudian las principales características de las playas de la Barrosa en el término de Chiclana, costa atlántica en Cádiz. El objetivo es tratar de encontrar explicaciones plausibles a la situación erosiva que se viene observando en los últimos años. Como sucede en otras playas de este entorno litoral, existe una cierta continuidad en la dinámica sedimentaria lo cual hace que la unidad fisiográfica a considerar sea algo mayor que la propia playa.

Debido a la importancia de las variaciones estacionales que se presentan, conectadas sin duda a mecanismos de cambio transversal, se ha procedido a un cuidadoso estudio de perfiles con formulaciones relativamente recientes y novedosas y comparaciones con medidas batimétricas y de oleaje «in situ». Los resultados obtenidos permiten abrigar esperanzas de que un tratamiento similar en estas zonas permitan resolver este difícil problema de las variaciones en perfil de las playas, tanto artificiales como naturales.

## A STUDY OF THE COASTAL DYNAMICS OF THE BARROSA BEACH, CHICLANA (CADIZ)

**ABSTRACT.** This article studies the main characteristics of the Barrosa Beaches in the Borough of Chiclana, on the Atlantic Coast of Cadiz. The aim is to try and find a plausible explanation for the erosion that has been taking place in recent years. As is the case with other beaches in this coastal environment, there is a certain continuity in the sedimentary dynamics, so the physiographical dimensions to be considered are somewhat greater than the beach itself.

Given the importance of the seasonal fluctuations, undoubtedly linked to transversal change mechanisms, a careful profile study has been prepared, using relatively new and recently developed formulae, as well as comparisons with bathymetric and «in situ» wave measurements. The results obtained give cause for optimism that a similar treatment in other zones will overcome this difficult problem of profile variations, on both natural and artificial beaches.

## 1. INTRODUCCION

En este estudio se pretende dar una posible explicación plausible a la situación erosiva que presenta la playa de la Barrosa en el tramo comprendido entre Punta Bermeja (aproximadamente) y la Torre del Puercu. Para una adecuada caracterización de este tramo hay que considerar la dinámica litoral de la propia playa, la dinámica de los acantilados de Torre Bermeja y el complejo del Caño de Santipetrí.

Desde el punto de vista de la dinámica litoral, la principal dificultad se presenta en la consideración del papel de sumidero que presenta el citado caño, ya que de la capacidad de strapar sedimento depende la llega-

da de material sedimentario desde la noroeste con la incidencia que esto tiene en la estabilidad de la propia playa.

Parece claro, por tanto, que la unidad fisiográfica en la que se encuentra inmersa la playa de la Barrosa se extiende aguas arriba y aguas abajo de los límites considerados por lo que tendrán que hacerse consideraciones más allá de ambos puntos.

Como se verá después en el apartado correspondiente esta zona de la costa de Cádiz, es muy sensible a los cambios estacionales en las playas (véase, por ejemplo, Fuente del Gallo), por lo cual será necesario eliminar en lo posible las variaciones cíclicas y quedarse con la componente no periódica de la evolución.

## 2. MORFOLOGIA DE LA COSTA

Tal y como se señalaba en el Estudio de Dinámica Litoral en la costa peninsular Atlántica, Cádiz, CEPYC

\*) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX IMOPTI.

1980 y en el más reciente Estudio de la Dinámica Litoral y evolución de la playa de Fuente del Gallo, Conil (Cádiz) CEPYC, 1990, el tramo de costa en estudio se encuentra situado en una unidad fisiográfica que aproximadamente se extiende desde el cabo de la Nao en Cádiz ciudad hasta el cabo Trafalgar.

La morfología costera del tramo se manifiesta en unas amplísimas «crenulate shaped bays» a resguardo de los promontorios más septentrionales que finalmente se conectan con las zonas rectilíneas de las playas de aguas arriba. En la unidad fisiográfica considerada encontramos tres de estas formaciones:

1. Playa Victoria, Cortadura, El Chato y Torregorda.
2. Playas Barrosa y El Puerco.
3. Playas de Fuente del Gallo, Roqueo, Fontanilla, Castilobo, Palmar y Zahara.

Naturalmente esta estructura no dejará de tener importantes consecuencias en la dinámica litoral a largo término.

En el tramo que nos ocupa, dos tipos de procesos costeros están implicados dada la composición arenisca y de conglomerados conchíferos pliocenos de los cantiles y éstos son:

1. Dinámica de retroceso de frente acantilado y
2. Dinámica diferencial del ataque erosivo según la distinta dureza de los materiales.

El primero de estos procesos se encuentra ejemplarmente representado en el acantilado al Noroeste de Torre Bermeja (véanse fotografías de la zona).

Las orientaciones medias de las playas del tramo son las siguientes: la playa de la Barrosa y el Puerco al norte tiene en la parte rectilínea final una orientación enfrentada al oeste-suroeste (la línea de costa forma  $21^\circ$  respecto del norte). En cabo Roche la costa sigue un pronunciado cambio de dirección, siendo la línea de agua aproximadamente este-oeste y girando progresivamente en el sentido de las agujas del reloj al llegar a la playa de Fuente del Gallo y aún más en las playas del Roqueo, la Fontanilla y Castilobo, que forman una unidad continuando con una dirección enfrentada al oeste-suroeste parecida a la de la playa de la Barrosa, aunque algo más enfrentada al sur, hasta llegar al cabo de Trafalgar.

Como es conocido en la dinámica de las «crenulate shaped bays», la parte rectilínea final del tramo debe presentar poca oblicuidad ante el oleaje medio incidente o para ser más precisos ante el flujo energético del oleaje a largo término. En nuestro caso esta parte final se debe corresponder con la orientación media de la playa del Puerco.

Como elemento diferencial respecto de la típica morfología costera de las playas con resguardo aguas arriba está el hecho de que este resguardo no está constituido en este caso por un promontorio «firmemente establecido», sino bien al contrario por unos cantiles en franco retroceso con lo cual el resguardo creado va perdiendo

entidad a lo largo del tiempo. Esto último explicaría por sí solo las condiciones erosivas del tramo noroccidental de la playa.

En definitiva, el proceso costero que se adivina en la playa de la Barrosa es un lento pero progresivo cambio en las condiciones de equilibrio en planta, lo cual se traduce en una inestabilidad en los alrededores de Torre Bermeja y zonas cercanas. Ni que decir tiene que la erosión de los cantiles constituye una fuente de material sedimentario de mayor o menor importancia según el grado de consolidación de los mismos.

Es oportuno señalar aquí los fuertes cambios en la morfología transversal de las playas que se producen en toda esta área debido principalmente a la incidencia poco oblicua del flujo energético a largo término. Estos cambios transversales que se presentan en todas las playas son particularmente importantes en las playas de la zona y en particular en la Barrosa. Debido a este hecho, prestamos especial atención a los perfiles y su posible modelización.

### 3. OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS Y EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS

Para el estudio en aguas profundas del oleaje en la zona partimos de los datos visuales de oleaje suministrados por el Centro Meteorológico Mundial de Asheville (USA) y con soporte en cinta magnética.

Debido a los numerosos trabajos que ha efectuado el CEPYC en áreas cercanas a las que hoy nos ocupa, las direcciones del oleaje en la zona están bien caracterizadas.

En primer lugar, consideramos una amplia cuadrícula con 28.157 datos totales cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud entre  $35,7^\circ$  y  $36,8^\circ$  norte.

Longitud entre  $6,0^\circ$  y  $8,0^\circ$  oeste.

Esta cuadrícula coincide sensiblemente con la reseñada en el Estudio de la Dinámica Litoral de la Costa Peninsular Atlántica, Cádiz, y con la referenciada en el estudio de la playa de la Victoria (RIC n.º 64, A. Lechuga, 1987).

Según esta cuadrícula, las direcciones predominantes de abordaje se hayan comprendidas entre los  $250^\circ$  y los  $300^\circ$  y entre los  $70^\circ$  y los  $120^\circ$ , es decir, presentan una estructura muy marcada de levantes y ponientes tanto en SEA como en SWELL, aunque más marcada en el segundo caso.

Una segunda cuadrícula empleada tiene como coordenadas geográficas las siguientes:

Latitud entre  $35,4$  y  $36,4$  norte

Longitud entre  $5,0$  y  $6,4$  oeste.

El número de datos en esta cuadrícula es de 22558 para el oleaje tipo SWELL (en este caso se ha considerado un criterio para decidir cuándo un dato bruto es incorporado o no al registro como válido). La estructura



de direcciones de esta cuadrícula muestra también un predominio marcado de las correspondientes a 80° y 260° tanto en SEA como en SWELL reproduciéndose por tanto, parecida estructura de «levantes-ponientes» que en la cuadrícula anterior.

Hemos considerado una tercera cuadrícula más restringida que las anteriores con las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud entre 36,0 y 36,4 norte.  
Longitud entre 5,4 y 6,4 oeste.

Como vemos, la anterior cuadrícula incluye a ésta. El número de datos en este caso es de 797 en SEA y 225 en SWELL. Por lo que respecta a los levantes, la estructura es muy similar a los anteriores (predominio de la dirección de 80°). Sin embargo, con los ponientes aparece marcadamente además de la de 260° la de 240° siendo, por lo tanto, el oleaje oeste-suroeste.

Finalmente hemos considerado una cuarta cuadrícula cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud entre 36,0 y 36,6 norte.  
Longitud entre 6,0 y 6,5 oeste.

El número de datos es de 7895 para oleaje tipo SEA y 4188 para oleaje tipo SWELL.

En este caso los datos se han agrupado por sectores presentando una estructura direccional con predominio claro de la dirección este-oeste y oeste-este, pero invirtiendo su importancia relativa según se trate del oleaje tipo SEA o tipo SWELL. (En el SEA, ligero predominio de levante; en el SWELL, acusado predominio de poniente.)

Como complemento de los datos visuales se ha procedido al análisis de la boya de medida de oleaje de la REMRO, Estación de Cádiz, cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud 36° 30' 00" norte.  
Latitud 6° 20' 00" oeste.

Esta boya se encuentra ligeramente al norte de nuestro área de interés, pero pueden resultar adecuados sus datos teniendo en cuenta que en principio sólo necesitamos conocer el estado del mar aproximadamente en la fecha en que se efectuó la campaña batimétrica a la zona. A estos efectos analizaremos los datos registrados en los meses de octubre y noviembre de 1990 (véanse los registros correspondientes).

Presumiblemente el clima marítimo con real influencia en la modificación de los perfiles de playa se produjo entre los días 7, 8, 9 y 10 de noviembre de 1990. (El comienzo de la campaña batimétrica tuvo lugar el día 14 de noviembre de 1990.) Para el cálculo de la media semanal empleada en algunas formulaciones, como veremos usaremos los datos registrados los días 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 de noviembre de 1990.

DIAS	H <sub>s</sub> (cm)
7	97,6473
8	231,6094
9	122,0302
10	83,2638
11	69,0124
12	64,5102
13	83,4555

Para el cálculo de dichas medidas se ha empleado el método de integración de Newton-Cotes para seis puntos considerando el valor significativo horario cada cuatro horas.

La media semanal de las alturas significativas promediadas diariamente da un valor de:

$$H_{ss} = 113,0698 \text{ cm}$$

Resultante de aplicar el mismo método de integración.

Análogamente haremos el mismo tratamiento para el cálculo de los períodos significativos.

DIAS	T <sub>1/3</sub> (seg)
7	5,2352
8	9,8893
9	8,4164
10	8,4942
11	9,7018
12	8,0335
13	11,1034

Como vemos, la correlación alturas-períodos medios diarios presenta algunas singularidades dignas de destacar como es el caso del período medio del día 13 que siendo el más alto de la serie no se corresponde con la máxima altura significativa.

El período significativo medio semanal tiene el valor:

$$T_{ss} = 8,835 \text{ seg}$$

Para la consideración del oleaje en profundidades reducidas se han estudiado propagaciones en las siguientes direcciones y períodos:

DIRECCIONES	PERIODOS (seg)
W-30 S	6,5
W-30 S	11,
W-15 S	9,
W	6,5
W	9
W	11,
W 15-N	9

Hay dos características esenciales en la batimetría del área cercana a la playa de la Barrosa que sin duda

tienen, como puede observarse, una influencia notable en la propagación de los distintos frentes. Una es la zona prácticamente a la batimétrica 10 o menos que se presenta a 5 km de la playa mar adentro. La segunda característica es el estrechamiento de las batimétricas que produce una vez rebasada la llamada Laja Bermeja hacia el sur. Esencialmente la difracción creada por el conjunto del islote de Sancti Petri, Bajos de Fuera, Laja de la Duquesa y Laja Bermeja propician la existencia de la propia playa como tal como se observa en todas las propagaciones efectuadas. En definitiva, uno de los aspectos fundamentales de la inestabilidad actual de la playa tiene que ver al menos parcialmente con la pérdida de capacidad de difracción de estos obstáculos.

Las propagaciones se han llevado a cabo mediante modelo parabólico puesto a punto por J. M. Grassa Garrido.

A continuación pasamos a comentar las características más importantes de los resultados obtenidos que tienen o van a tener relación con la dinámica litoral de este tramo costero.

El oleaje incidente desde el oeste  $-30^\circ$  sur induce

una ligera oblicuidad hacia el norte de la playa para los dos períodos considerados de 11 seg y 6,5 seg. El oleaje acusa en su propagación el efecto de los bajos que hemos indicado con anterioridad a 5 km de la costa sobre todo en el caso de oleaje de 11 seg. En general, no hay efectos particularmente «anormales» salvo los creados por los bajos y la zona de Sancti Petri.

El oleaje incidente desde el oeste  $15^\circ$  sur prácticamente llega a la playa sin oblicuidad salvo en la zona de difracción de las Lajas y Sancti Petri. En este caso también se presentan perturbaciones en la zona de bajos no pudiéndose señalar efectos más significativos que los apuntados.

En el oleaje proveniente del oeste la oblicuidad indicada en la playa es claramente hacia el sur para los tres períodos considerados. Los bajos perturban el oleaje de un modo similar a las anteriores direcciones y el efecto de la difracción en las Lajas Bermejas resguardan la playa en este extremo norte.

Por último, el oleaje incidiendo desde el oeste- $15^\circ$ -norte induce una fuerte oblicuidad en la playa en toda su extensión salvo en el extremo septentrional por las razones anteriormente expuestas.

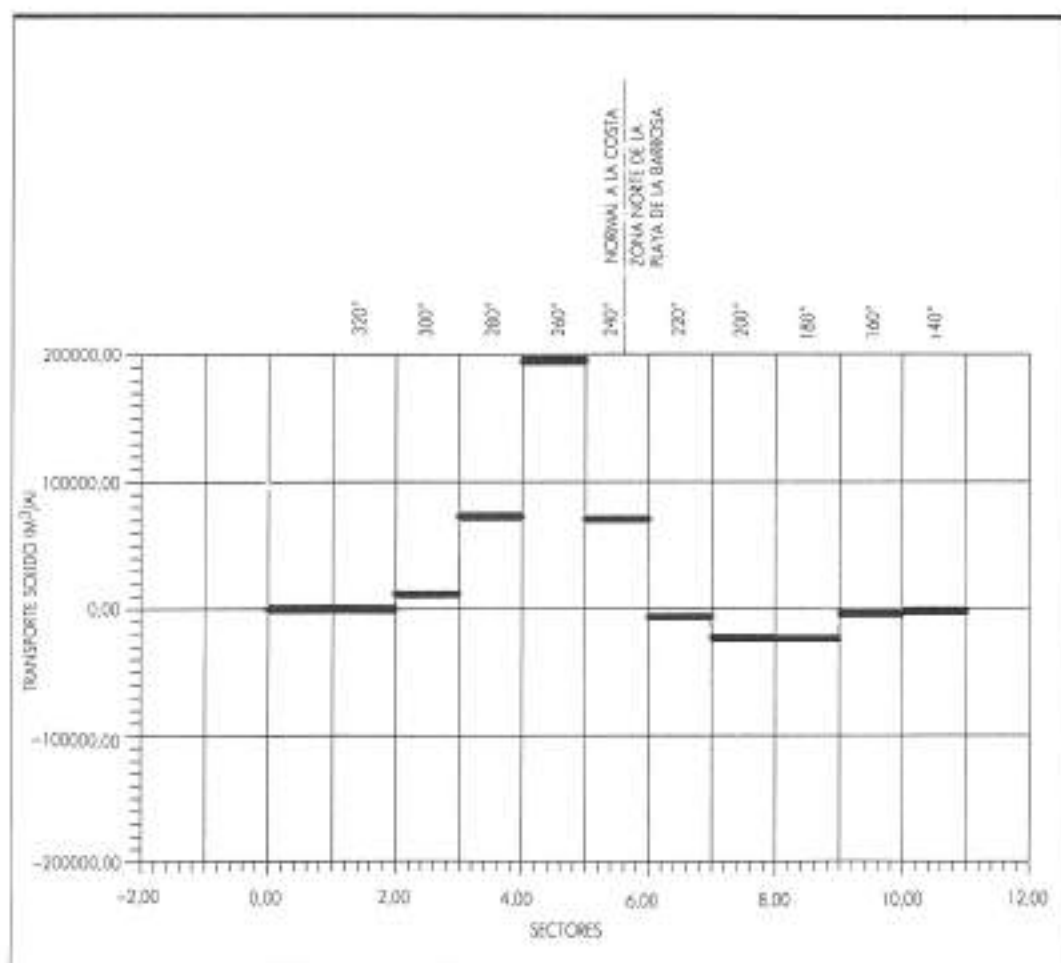


FIGURA 1.



#### 4. TRANSPORTE SOLIDO Y DINAMICA LITORAL

El cálculo del transporte sólido lo hemos efectuado por la conocida fórmula del CERC en aguas profundas que podemos escribir como:

$$Q_{ij} = 20460 \cdot f_{ij} \cdot H_j^{3/2} \cdot 160/\pi \cdot \alpha \cdot (\cos^{3/4} \alpha_i - \cos^{3/4} \alpha_{i-1})$$

Siendo  $Q_{ij}$  el transporte debido al sector  $i$  y la altura  $j$ ,  $f_{ij}$  el porcentaje de presentación del sector  $i$  y la altura  $j$ ,  $\alpha$ , amplitud de sector considerado, y,  $\alpha_i$  y  $\alpha_{i-1}$ , extremos del sector  $i$  respecto a la normal a la costa.

Dada la batimetría de la zona las fórmulas para el cálculo del transporte son obviamente inaplicables, pero nos darán una idea de la decisiva importancia de las direcciones en la dinámica litoral de la zona.

En una playa curvilínea como la de la Barrosa es complicado asignar una dirección a la normal a la costa. A efectos simplemente comparativos, y teniendo en cuenta lo expresado en el punto anterior, hemos considerado una de la normal de  $235^\circ$  respecto del norte que se corresponde con la dirección media de la playa en el tramo más septentrional.

Los resultados del cálculo aparecen en la figura 1. Como vemos para la normal a la costa considerando los sectores comprendidos entre:

- 1)  $290-270^\circ$
- 2)  $270-250^\circ$
- 3)  $250-230^\circ$

Estos son los que más transporte sólido inducen tanto en oleaje tipo SEA como en oleaje tipo SWELL. En particular, a gran distancia del siguiente el sector, 2)  $270-250^\circ$ , en donde se unen una más favorable oblicuidad del oleaje junto con un paso a la distribución direccional bastante importante.

Como era de esperar, conforme aumenta el ángulo de la normal a la playa el transporte sólido es progresivamente menor. Esto ocurre en la subunidad fisiográfica de la playa de la Barrosa; por eso cuando nos vamos desplazando hacia el sur, la playa va cambiando de orientación aproximándose hacia un ángulo de  $260^\circ$  en el tramo final de la Torre del Puerto que indicaría (véase figura 1) un transporte sólido pequeño.

En este momento, y a la vista de lo anterior, estamos en condiciones de destacar la principal característica de la dinámica litoral de la playa desde el punto de vista longitudinal y ésta es la amplia «crenulate chapéed bay» que se establece entre el resguardo de Laja Bermeja, Islote de Sancti Petri, Bajo de Fuera y Laja de la Defensa, entre otras, y la zona acantilada final de la playa del Puerto. En una playa en equilibrio que responde a esta dinámica la mayor oblicuidad con la que incide el oleaje en la zona más curva, se corresponde con la difracción causada por el resguardo con el consiguiente gradiente de sobreelevación en sentido contrario a la oblicuidad. En nuestro caso, desde el punto de vista del

transporte sólido considerando datos en aguas profundas, hemos visto cómo el transporte es mucho mayor para una orientación de  $235^\circ$  que es la correspondiente a la zona de la playa donde se sitúa el paseo marítimo que para las zonas más meridionales cuya orientación es alrededor de  $260^\circ$ . Por lo tanto, de acuerdo con esta dinámica y supuesta una condición indispensable de continuidad, el transporte sólido por oblicuidad tiende a frenarse mediante la sobreelevación en las zonas septentrionales para igualarse en alguna medida al transporte de la zona meridional donde el oleaje incide con menos oblicuidad.

Esto es así cuando la playa está dentro de los límites de estabilidad. Cuando esto último se ve perturbado por alguna causa o actuación, véase el Estudio sobre la playa de Fuente del Gallo, las condiciones de equilibrio se pierden produciéndose una discontinuidad en el transporte con la consiguiente entrada en zona de inestabilidad.

En el caso de la playa de la Barrosa hay dos hechos que han incidido en la pérdida de estabilidad desde un punto de vista histórico y éstas pueden ser sintetizadas como sigue:

1. Pérdida lenta aunque progresiva de la capacidad de sombra de los obstáculos anteriormente señalados que constituyen los resguardos de la playa en su zona septentrional. Esto es evidente si se compara el Plano de la Barra de Sancti Petri, Madrid 1872, véase figura 2. Puede observarse la casi total desaparición de algunas bajos importantes como Laja Bermeja, Rompetimones, etc., y lo que es más importante el retroceso que no dudamos en calificar de impresionante de la Punta y arrecife de Bermeja. En el apartado de morfología, ya hemos señalado los dos modelos implicados, dada la composición areniscosa y de conglomerados conchíferos pliocenos de los cantiles. Estos son:

- a) Dinámica de retroceso del frente acantilado y
- b) Dinámica diferencial del ataque erosivo según la distinta dureza de los materiales.

La serie de fotografías tomadas de la zona de Torre Bermeja, al norte de la playa, ejemplifican el primero de estos procesos. El segundo se observa en la misma zona por la multitud de farallones de conglomerados que avanzan hacia el mar con importantes acumulaciones en bloques al pie de cantil.

Es precisamente en Torre Bermeja, al norte, y entre Torre del Puerto y Cabo Roche, al sur, donde mejor se manifiesta la dinámica diferencial del ataque marino con la alternancia del cantil plioceno de conglomerados conchíferos y materiales areniscosos dando lugar a la formación de puntas de conglomerados y entrantes areniscosos con playa de pie. En algunos casos los conglomerados forman farallones e islotes testimonio del frente costero (véanse fotografías 3, 4, 5 y 6).

Se puede afirmar conclusivamente que en estos tra-

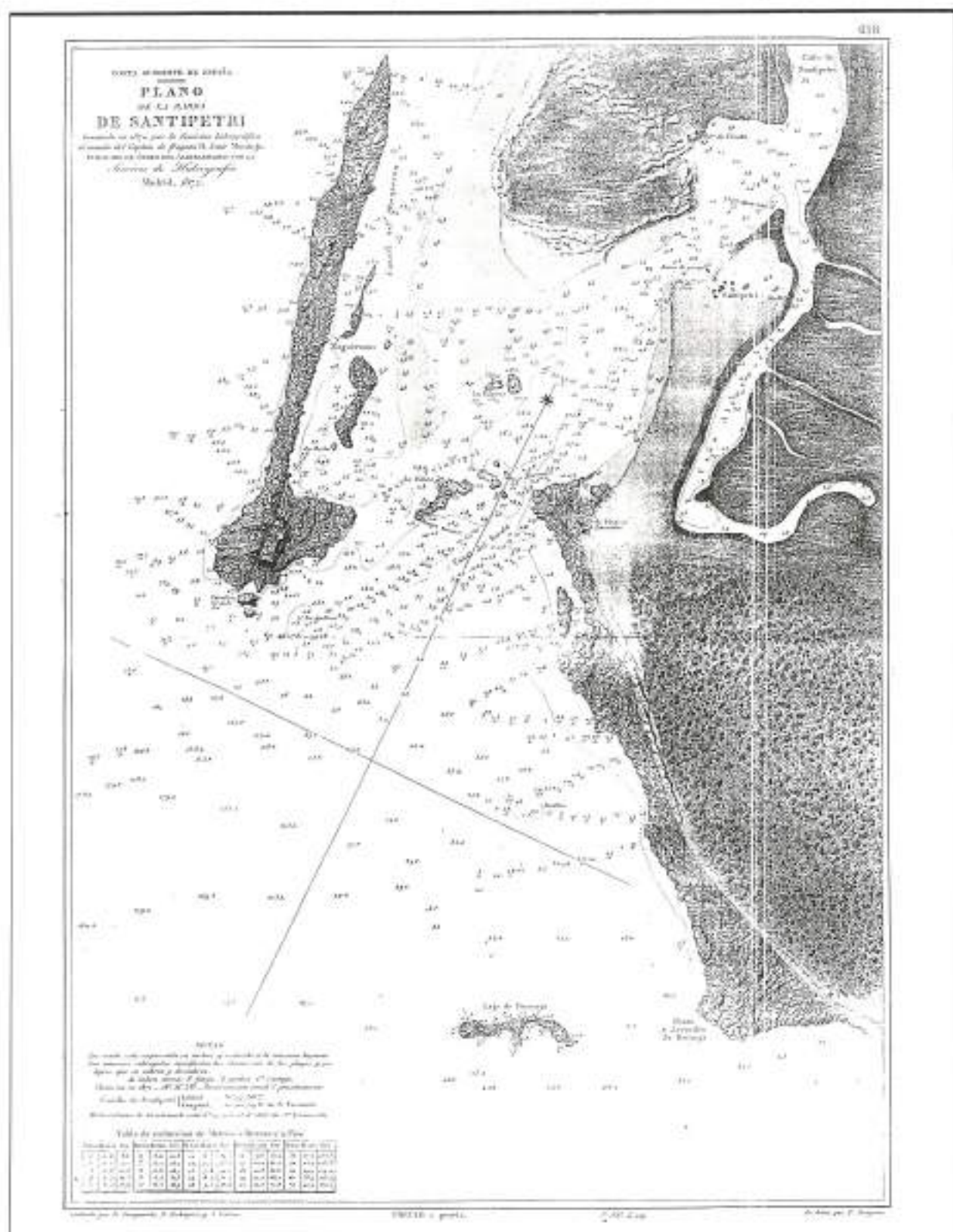


FIGURA 2.





FIGURA 3. Erosión de los cantiles de Torre Bermeja.

mos de costa los acantilados constituyen una fuente del material sedimentario que se incorpora a las playas.

2. Cambio en la capacidad de sumidero del Caño de Sancti-Petri. En general, parece que ha aumentado el

volumen de captación de arenas a la sombra del islote de Sancti-Petri tanto de los que se incorporan caño adentro como los que quedan atrapados en lo que se llama Punta del Boquerón y áreas cercanas. El efecto



FIGURA 4. Playa colgada y rosa al descubierto.



**FIGURA 5.** Erosión generalizada en la zona norte de la playa de la Barrosa (Torre Bermejil).

sobre la playa de la Barrosa de este cambio es muy simple. Cuanto mayor sea la arena atrapado, menor será la incorporación de ésta a la playa por su zona norte. Por lo tanto, se puede decir que la situación sedi-

mentaria de este punto es importante en la dinámica longitudinal en la playa.

Los cambios en el comportamiento pueden ser debidos a diversas y complejas causas difíciles de analizar y



**FIGURA 6.** Playa de la Barrosa. Obsérvense los conchos rodados dispersos en el estrón.



separar unas de otras. Por supuesto una causa es la apuntada en el apartado anterior: La pérdida de sombra de los obstáculos induce nuevas redistribuciones del sedimento.

Otras causas verdaderamente sustantivas de este cambio en la capacidad de sumidero es la distinta configuración hidrodinámica de las corrientes mareales de entrada y salida del Caño de Sancti-Petri, debida a su vez a múltiples cambios como puede ser rellenos, cambios artificiales de configuración, extracción de áridos, etc., es decir, cualquier modificación que induzca un cambio en el prisma de marea y/o en la red de Caños de esta zona marismal y su aledaña de Puerto Real. Un estudio detenido de este aspecto del problema se sale del marco de este trabajo. Por último, hay que apuntar también la propia extracción de áreas en sí, siempre que éstas no se incorporen a la playa de la Barrosa, ya que estas extracciones detraxerían material del sistema que como vemos en el caso de la playa de la Barrosa no está muy sobrado de él.

Respecto de la magnitud absoluta del transporte sólido longitudinal en la playa de la Barrosa los cálculos nos señalan unas cifras del orden de los doscientos cincuenta mil metros cúbicos año, pero teniendo en cuenta lo apuntado más arriba y otros testimonios y datos de las zonas más cercanas (véase el Estudio de la Dinámica Litoral y Evolución de la Playa de Fuente del Gallo, Conil, Cádiz), la cifra real podría estar situada en torno a los cien mil metros cúbicos/año en dirección noroeste-sudeste.

Finalmente hay que destacar que, refiriéndonos estrictamente a las playas, y dadas las características que hemos apuntado del frente costero sobre todo en los tramos rectilíneos, es observable un fuerte cambio en la dinámica onshore-offshore según el período estacional que se considere lo que se traduce en cambios importantes de perfil que en general se corresponden con el llamado perfil de «Swell, de bonanza o de verano» y perfil de «Sea, de temporal o de invierno». Estos cambios y la morfología asociada se superponen a los correspondientes cambios producidos en la dinámica longitudinal de la playa en cuestión teniendo en cuenta las interrupciones del transporte, etc. Lógicamente estas variaciones sólo son visualmente observables en las playas de pie de cantil o aquellas limitadas por muros en la trasplaya, ya que las hipercompletas se reproducen a sí mismas con el mismo o parecido perfil y sólo son observables los movimientos mediante cuidadosas mediciones.

Sobre este aspecto nos detendremos más ampliamente en el apartado siguiente.

## 5. SITUACION EVOLUTIVA DE LA PLAYA. ESTUDIO DE PERFILES

Considerando objetivamente la batimetría realizada por nosotros en noviembre de 1990, las primeras conclusiones importantes es la gran irregularidad que se presen-

ta entre los perfiles 18 y 22 por un lado y 24 y 32 por otro. Esta irregularidad continúa entre los perfiles 33 y 37, pero en este caso la irregularidad tiene un sentido bien definido por los bajos conectados al cantil de Torre Bermeja que se proyectan mar adentro testificando los procesos anteriormente citados de retroceso del cantil y erosión diferencial (véanse fotografías).

La batimetría señala una determinada situación con instante cero que no admite una comparación fácil con instantes anteriores, pero testimonios de distinto tipo indican pérdidas progresivas de arena a lo largo del tiempo evaluables en el orden de magnitud apuntado en el apartado anterior (cien mil metros cúbicos año).

Si nos atenemos a la comparación efectuada en la playa seca, entre la topografía facilitada por el Excmo. Ayuntamiento de Chiclana de 4 y 19 de junio de 1990 y nuestra propia batimetría, los resultados son bastante similares a lo largo del paseo aunque hay pérdidas de arena de la muestra con respecto a la del Ayuntamiento en la zona más septentrional y una diferencia en sentido contrario en la zona más meridional del paseo. Como las diferencias no son muy importantes, el análisis que podría efectuarse tiene una componente estacional que es interesante destacar en este tipo de playas.

De la información facilitada en las visitas llevadas a cabo en octubre y noviembre de 1990 se desprende una situación erosiva de la playa prácticamente en todo el frente ocupado por el paseo marítimo e incluso algunos centenares de metros al sur del mismo con pérdida de playa seca en comparación con las zonas más consideradas y con aparición de cantos rodados en el estrán. Esta situación cambia completamente en la zona aguas abajo de la playa donde está presente un perfil hipercompleto con playa seca perfectamente definida y perfilada, con superficie dunar más o menos activa y con casi total desaparición de cantos rodados lo cual es un índice de una mayor estabilidad (véanse fotografías de la zona). En la zona de Torre del Puercu hay claramente una situación de berma en contraposición al perfil mucho más erosivo de las zonas septentrionales de la playa. Por razones sin duda conectadas a la estabilidad general de la playa se reproduce espacialmente en la misma en un recorrido norte-sur las condiciones de cambio de perfil que se producen visualmente de manera estacional.

Por lo que respecta a la zona acantilada de Torre Bermeja, la situación evolutiva es francamente espectacular. El retroceso del frente es continuo con rotura y desprendimiento de grandes bloques en un proceso conjunto de agentes atmosféricos-agentes marítimos.

Esto último ya fue señalado en los años sesenta por los profesores Hernández Pacheco y Asensio Amor en su trabajo «Materiales areniscosos del frente litoral de la Barrosa-Chiclana de la Frontera, Cádiz. Estudios Geológicos, vol. XX, pp. A5-182. 1984», y también fue recogido por nosotros en el Estudio de la Dinámica Litoral Atlántica de la Provincia de Cádiz, 1980 (pp. 11-12, 39-40 de este último estudio).



Para tratar de aproximar las variaciones en perfil que se puedan presentar en la playa de la Barrosa hemos efectuado un análisis pormenorizado entre la batimetría efectuada en la playa en el mes de noviembre de 1990 y el clima marítimo que presumiblemente modelaba la playa en esas fechas siguiendo las formulaciones de los investigadores Tsuguo Sunamura, Kiyoshi Horikawa, Yoshiali Kawata, Takaaki Uda y Atsushi Omata entre otros, aparte de elaboraciones propias.

Para nuestro análisis hemos usado tres criterios fundamentales en el estudio de perfiles, además de los criterios concordantes con ellos referentes a características en rotura: profundidad, altura y longitud de onda.

Criterio de Sunamura:

$$KA = HB^2 / g T_0^2 \cdot D_{50}$$

$$HB/DB = 1.1 \cdot (\text{tg}\beta)^{1/6} (H_0/L_0)^{-1/12}$$

$$HB/H_0 = (\text{tg}\beta)^{1/5} (H_0/L_0)^{-1/4}$$

En donde  $HB$  es la altura en rotura,  $H_0$  es la altura en aguas profundas,  $DB$  es la profundidad en rotura,  $L_0$  es la longitud de onda en aguas profundas,  $\text{tg}\beta$  es la pendiente media o representativa de la playa,  $D_{50}$  es el tamaño medio del árido,  $KA$  es el parámetro de Sunamura.

Criterio de Horikawa-Sunamura:

$$H_0/L_0 = CS (\text{tg}\beta)^{-0,27} \cdot (D_{50}L_0)^{0,67}$$

En donde los símbolos tienen el mismo significado anterior, siendo  $CS$  el parámetro representativo del criterio.

Por último, el criterio más reciente es el de los profesores Uda y Omata que establece:

$$D_{50} = CC \cdot FX_0^{-0,8}$$

En donde  $CC$  es el parámetro del criterio y  $FX_0$  es el flujo de energía del oleaje incidente en aguas profundas.

La manera de incorporar los datos de oleaje medidos en la boya de Cádiz, datos suministrados por el Sector de Ingeniería Marítima del CEPYC «REMRO-Datos de Oleaje 1990. Informe específico n.º 6, Estación de Cádiz, enero 1991», se elaboraron de la manera siguiente:

En primer lugar se calculan las medias diarias de alturas y períodos para los días comprendidos entre el 7-11-90 y 13-11-90 (véase el correspondiente apartado anterior).

Hay que tener en cuenta que en todos los criterios señalados, salvo en el último, los datos que figuran de alturas y períodos se refieren a medias diarias mientras que en el último los datos se refieren a la media semanal, una vez calculado el flujo de energía medio diario.

La consideración en muestras calculadas de la semana comprendida entre el 7-11-90 y el 13-11-90 se basa en el hecho de que la batimetría se efectuó entre el 14 y el 19 del mismo mes de noviembre, por lo que presumiblemente el «temporal» implicado en nuestros cálculos es el que realmente ha modelado, así lo creemos, los perfiles medios en la batimetría efectuada en esas fechas.

El perfil que hemos considerado de control es el n.º 24 cuyo gráfico incorporamos. Este perfil se considera en pleamar a efectos de las pendientes en el estrán (playa alternativamente mojada y seca).

Dado que es la primera vez que aplicamos este criterio con datos reales de oleaje medidas instrumentalmente, los resultados deberán ser objeto de un análisis riguroso. Por otra parte, hay que tener en cuenta dos hechos fundamentales:

1. La boya de Cádiz está situada algo más al norte que la playa de la Barrosa, aunque esperamos que significativamente el clima marítimo sea semejante.
2. A efectos del flujo de energía se ha supuesto que el oleaje incide normalmente a la playa; en otro caso, habría que multiplicar por el coseno al cuadrado del ángulo correspondiente cuya diferencia respecto de uno es pequeña en este tipo de playas bastante enfrentadas al oleaje.

Analizando los distintos modelos para cada estado del mar en los días considerados, véase que en el día 7 el modelo de Sunamura da situación intermedia con tendencia a barra incipiente,  $KA < 20$ , mientras que el modelo de Horikawa-Sunamura da unos valores ligeramente erosivos,  $CS = 23,57$ , y el límite de erosión es  $CS = 18$  para playas naturales.

Para el día 8, que se corresponde con el pico del temporal  $KA = 33,86$ , por tanto es claramente situación erosiva y formación de barra y  $CS = 36,73$  que también señala claramente situación erosiva.

Para el día 9 la situación vuelve a ser parecida al día 7 con recuperación de la playa y situación de barra incipiente y situación ligeramente erosiva según Horikawa-Sunamura.

El día 10 hay una notable bajada de los valores de  $KA$  con tendencia a formación de BARRA (modelo de Sunamura) que muestra que en el modelo de Horikawa-Sunamura la tendencia es también ligeramente progresiva o intermedia.

El día 11 ambos modelos presentan una situación claramente progresiva de la playa con formación de berma y desaparición de la barra.

El día 12 es muy similar al día 11, con las mismas características de las playas, e igualmente el día 13 presenta la misma situación de estabilidad.

Todo lo anterior representa la aplicación de modelos que como hemos visto parten de medias diarias de las características del clima marítimo. En el modelo de Uda y Omata, que podría considerarse como representativo del régimen medio de la playa, el valor de  $CC = 0,1813$  estando comprendido entre 0,27 y 0,15 que representa los límites de situación progresiva  $CC > 0,27$  o de situación erosiva  $CC < 0,15$ . Por lo tanto, como se ve más cerca de la situación erosiva.

Como se puede ver en lo anterior, todos los modelos tienen una concordancia aceptable y lo que es más significativo pueden usarse como instrumentos de diseño para alimentación y regeneración de playas.



Para todos los cálculos anteriores el perfil de la playa de la Barrosa que hemos usado como perfil de control es de perfil n.º 24 que aparece en la figura 7.

Respecto de las granulometrías de la playa de la Barrosa y zonas colindantes, podemos señalar lo siguiente:

En la granulometría del material correspondiente a la zona del Puerto, muestras n.º 52, 78, 79 y 80 tienen una media bastante alta entre 0,30 y 0,40 mm con una desviación típica en unidad  $\sigma$  entre 0,48 y 0,83. En ellas sólo la muestra 79 está bien clasificada mientras que el resto se ajustan mal a la distribución LOGONORMAL EN ESCALA  $\Phi$ .

Las muestras correspondientes a una zona intermedia (Pago de Melilla) el material es relativamente grueso alrededor de 0,40 mm. Salvo en la duna, muestra 81, cuya media es de 0,25 mm. Las desviaciones típicas oscilan entre 0,45 para la muestra de duna y 0,86 para el estrán.

Por lo que respecta a las muestras 99 y 100 de la parte meridional del paseo marítimo, el material es más fino, alrededor de 0,25-0,26 mm de media con desviación típica 0,60-0,68 y material mal clasificado en la primera y regular en la segunda.

En el norte del paseo marítimo, muestras 103, 104 y 105, la media está entre 0,18 y 0,28 mm y desviación típica de 0,38 en la muestra 103 y 0,78-0,83 en las

otras dos. Hay que señalar una diferencia espectacular entre la clasificación de la muestra 103 y 104-105. Con el primer caso la clasificación es prácticamente perfecta en contraposición a las otras dos (la buena clasificación corresponde a playa seca).

Para terminar, señalaremos que una aplicación del modelo de Sunamura al estrán de la playa en el período considerado nos da una pendiente en el estrán que en el caso de máxima erosión es de alrededor de 0,049 y en el caso de berma es de aproximadamente 0,077, todo esto en correspondencia con el clima marítimo de la semana 7-11-90 y 13-11-90 (véanse figuras 8, 9, 10 y 11).

Con todos estos datos es posible aproximarnos a una situación de diseño teniendo en cuenta que el perfil medido (véase figura 7) tiene una pendiente de estrán de 0,040 correspondiente, por tanto, a la situación de máxima erosión, concordando aceptablemente lo calculado con lo medido.

## 6. CONCLUSIONES

Según se ha podido ir comprobando a lo largo de este estudio hay dos causas fundamentales que han incidido en la situación erosiva actual de la playa de la Barrosa en su tramo más septentrional y éstas pueden sintetizarse como sigue:

1. Pérdida del perfil de resguardo de la zona acantilada de Torre Bermeja de la rasa mareal al pie de la misma y

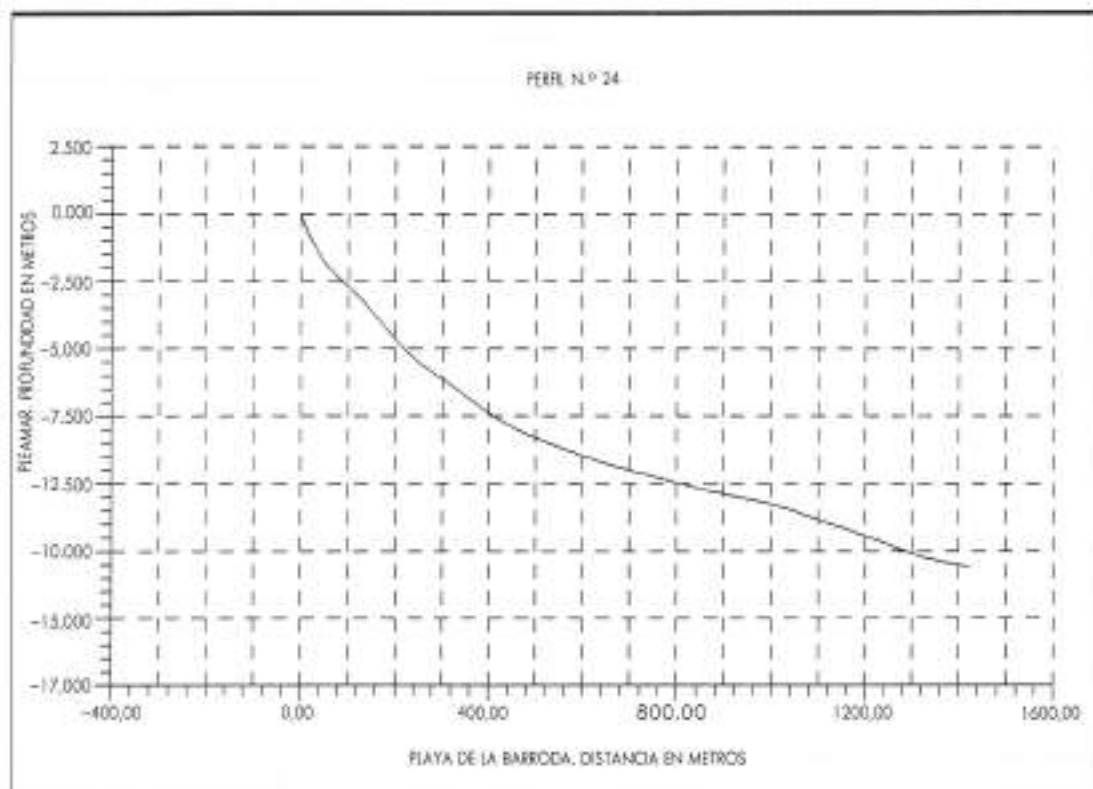


FIGURA 7.

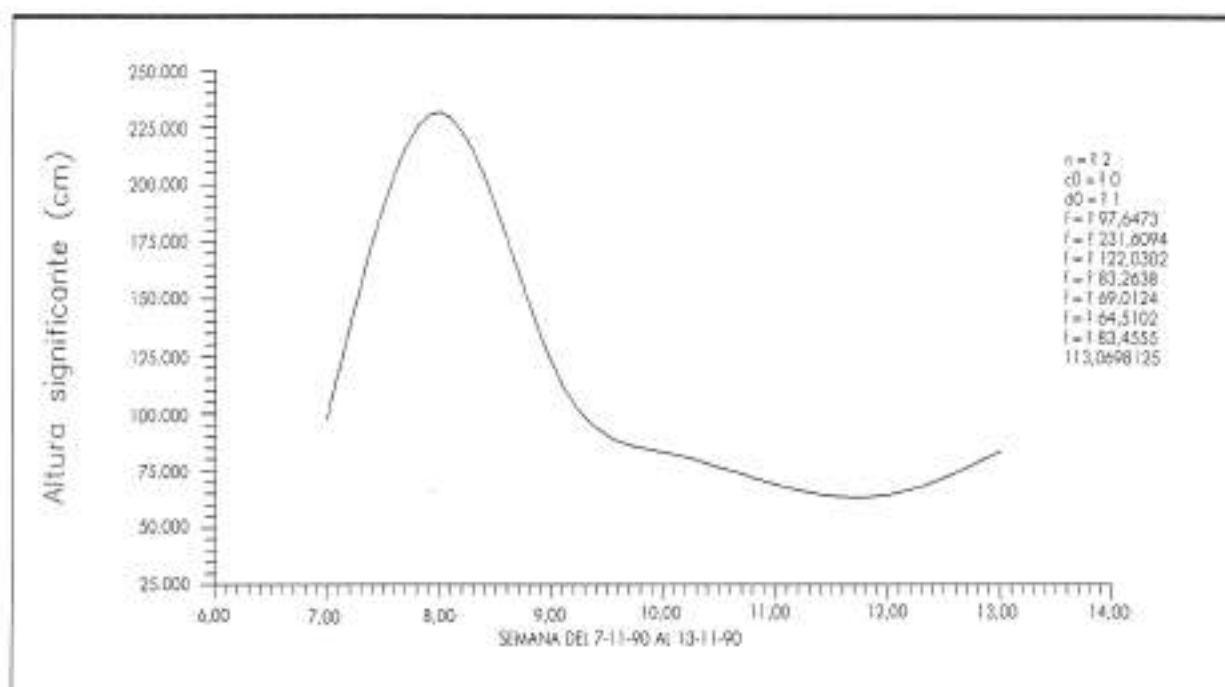


FIGURA 8.

de los islotes y farallones de este entorno comprendidos los ligados a la isla del Castillo de Sancti-Petri. A nuestro juicio, este efecto se deja sentir en una rectificación de la costa en este entorno, extraordinariamente visible en la comparación de cartas náuticas y en las fotogra-

fías aéreas actuales. Esta progresiva pérdida del papel de resguardo llevará a una nueva condición de estabilidad de la playa sin que en sí mismo se altere por esta causa el balance sedimentario. Es éste un proceso absolutamente natural, potenciado por la composición de los

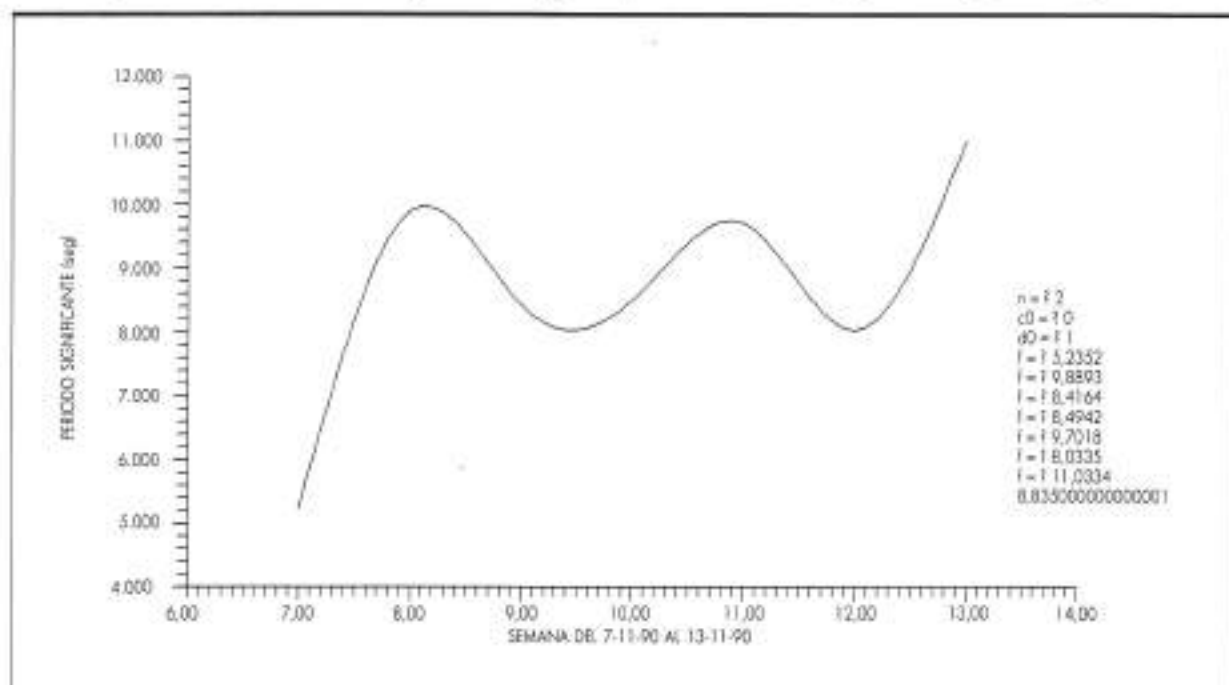


FIGURA 9.



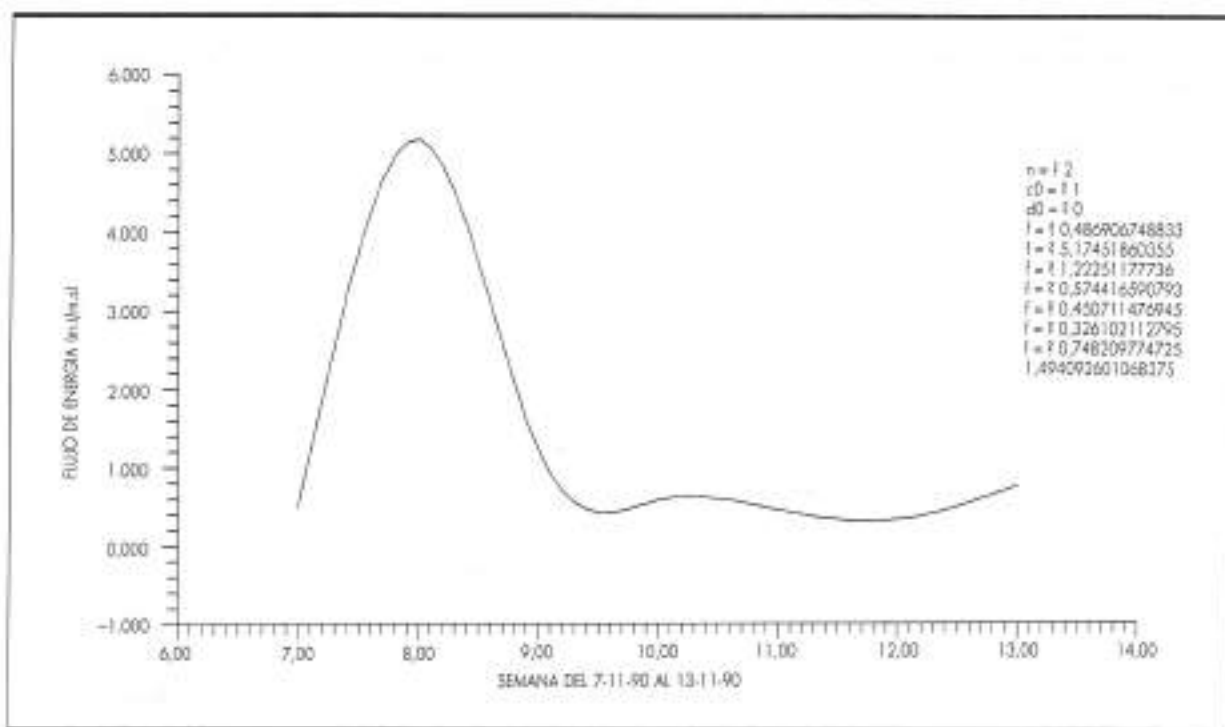


FIGURA 10.

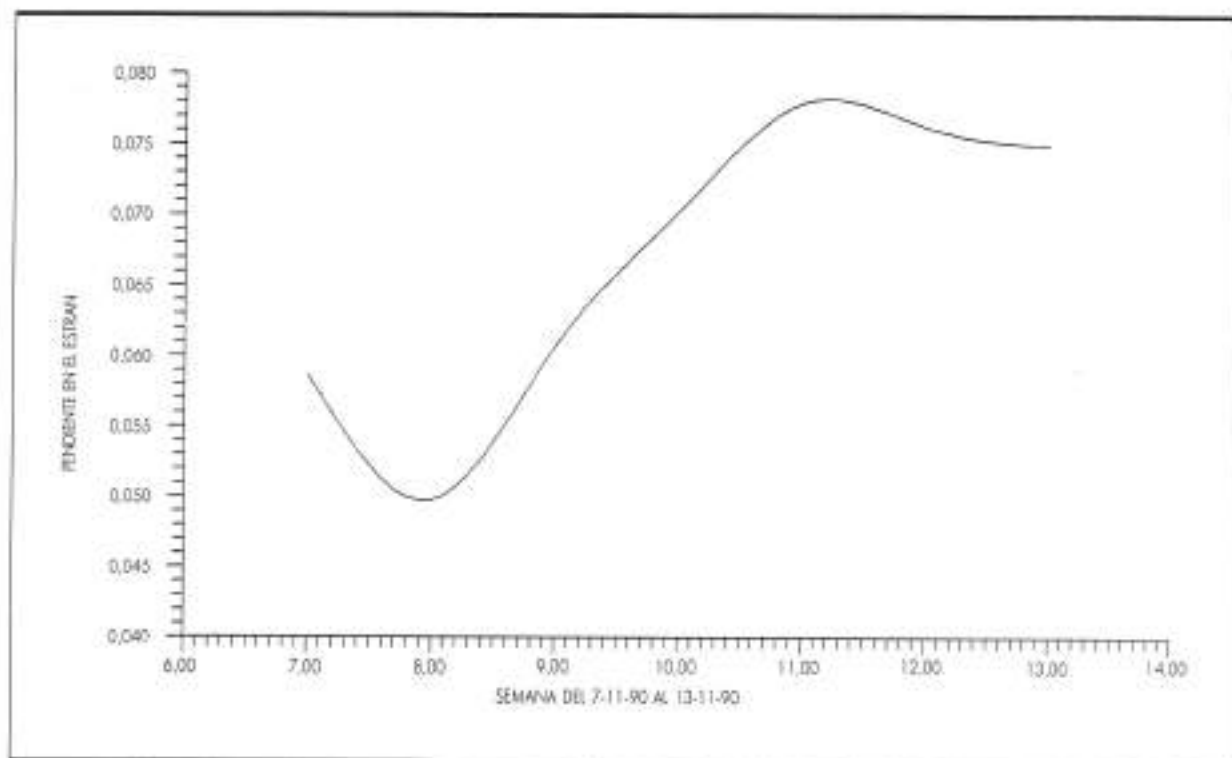


FIGURA 11.

cantiles y del que sólo cabe decir que llegado a un cierto punto el retroceso en sí puede representar algún problema para las propiedades y entorno afectado. Por otra parte, hay que destacar que en alguna medida este cantil constituye una fuente de material sedimentario que supone una entrada de material al balance sedimentario a largo término.

**2. Potenciación del papel de sumidero del Caño de Sancti-Petri y su entorno.** Es difícil de precisar las causas, pero el hecho es que este entorno es una trampa de arenas que impide la incorporación de las mismas al balance sedimentario. Por supuesto, lo que realmente interesa es el efecto diferencial, es decir, si ahora este entorno capta más arenas que en tiempos pasados. Creemos que esto es así, aunque es difícil estimar cualitativamente este efecto. Testimonios indirectos como pudieran ser la erosión de la propia playa, extracción de material sedimentario en el Caño este, nos lleva a un orden magnitud de 80.000 a 100.000 m<sup>3</sup>/año o quizá algo menor.

De lo anterior queda claro que hasta el día de hoy las actuaciones efectuadas en la trasplaya como es el paseo marítimo o más hacia el sur la urbanización de Novo Sancti-Petri no han tenido ni tienen nada que ver con el proceso erosivo. En el peor de los casos han sido testigos mudos de este proceso. Además, el caso de la urbanización de Novo Sancti-Petri la playa no presenta una situación erosiva en esta localización.

Debido a la morfología costera de esta zona de la costa gaditana atlántica se ha prestado particular atención al estudio de perfiles de playa partiendo de la batimetría efectuada entre el 14 y el 19 de 1990 y del oleaje medido por la boya de Cádiz de la REMRO en la semana del 7 al 13 de noviembre de 1990. La aplicación de los

trabajos de los investigadores Tsuguo Sunamura, Kiyoshi Horikawa, Yoshiaki Kawata, Takaaki Uda, Atsushi Omata entre otros, además de la elaboración del autor, han hecho posible una aceptable aproximación a la playa real, lo cual ha podido ser aplicado como instrumento de diseño.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del equipo encargado de la realización de la batimetría aludida, formado por D. José Losada Méndez, D. Jesús Roldán Guzmán, D. Santos Gutiérrez Martín y D. Manuel Navarro Mateo. Así como se agradece la colaboración de D. José María Medina Villaverde en la realización de la propagación de oleaje y en general al Excmo. Ayuntamiento de Chiclana por su soporte y apoyo en la realización de este trabajo.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- KAWATA, Y. (1989). «Methodology of Beach Erosion Control and its Applications». Coastal Eng. in Japan, vol. 32, 1.
- LECHUGA, A. (1980). «Estudio de la dinámica litoral en la Costa Peninsular Atlántica Provincial de Cádiz» (sin publicar).
- LECHUGA, A. (1987). «Estudio sobre la mejora y regeneración de la playa de La Victoria (Cádiz)». Ingeniería Civil, 64.
- LECHUGA, A. (1990). «Estudio de la dinámica litoral y evolución de la playa de Fuente del Gallo, Conil (Cádiz)» (sin publicar).
- SUNAMURA, T. (1980). «A laboratory studies of offshore transport of sediment and a model for eroding beaches. Proc. 17th Coastal Eng. Conf. ASCE, pp. 1051-1070.
- UDA, T., y OMATA, A. (1990). «Process of berm formation and predominant factors determining foreshore changes». Coastal Eng. in Japan, vol. 37, 1.