

Estudio para la mejora y regeneración de las playas de Benicàsim (Castellón)

JOSE MANUEL DE LA PEÑA OLIVAS (*)

RESUMEN. En este artículo se presenta, de forma resumida, el estudio llevado a cabo en el CEPYC para mejorar el actual estado de las playas de Benicàsim, donde a lo largo de los años se han ido realizando obras marítimas que no han logrado paliar satisfactoriamente el problema.

STUDY FOR THE IMPROVEMENT AND RENOURISHMENT OF BENICASIM BEACHES (CASTELLON)

ABSTRACT. This article is a summary of a study which has been carried out by CEPYC in order to improve the present state of Benicàsim beaches. Throughout many years a large number of works have been conducted, but they have not succeeded in reducing the problem.

1. INTRODUCCION

El término municipal de Benicàsim se encuentra situado entre los términos municipales de Oropesa, al norte, y Castellón de la Plana, al sur. Estando delimitado su frente costero entre el cabo de Oropesa y el puerto del Grao de Castellón.

En la actualidad gran parte del litoral de Benicàsim se encuentra protegido por numerosas obras de defensa marítima; así, la Dirección General de Costas, sensible ante tanta proliferación de obras, decidió emprender un estudio que resolviera el problema global y definitivamente, y no como hasta ahora se había abordado de forma escalonada y parcial. Para ello encargó el pasado año al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), un estudio de Dinámica Litoral con una respuesta concreta a la regeneración y mejora de todo el frente costero. Dicho estudio se realizó en el cuarto trimestre del pasado año y primer mes del presente año, entregándose en el transcurso del pasado mes de febrero.

Este artículo pretende ser una síntesis de aquel trabajo, cuyo título fue «Estudio de dinámica litoral y propuesta de regeneración de las playas de Benicàsim (Castellón)»; así, pues, se ha estructurado y simplificado la escritura para facilitar la comprensión del texto para los técnicos y no técnicos no familiarizados con este tipo de problemas.

2. ENTORNO LITORAL

El tramo de costa que comprende este estudio se encuentra enmarcado en la unidad estructural de La Plana y, geográficamente, pertenece al Ovalo Valenciano, que tiene su extremo norte en Las Villas de Benicàsim.

La orientación general de la costa es del noreste-suroeste, alcanzando el entorno litoral estudiado una longitud de 6.400 metros aproximadamente (Fig. 1); comenzando, en su punto más al norte, en Las Villas de Benicàsim, donde comienza la playa del mismo nombre, y terminando en el extremo más meridional de la playa Sur de Benicàsim, límite entre los términos municipales de Benicàsim y Castellón de la Plana. Está constituido por una costa baja, que se hallaba en proceso de formación hasta hace pocos años. En la actualidad la construcción de embalses en los ríos de la zona ha disminuido cualitativamente el volumen de acarrees; asimismo la presión urbanística y turística ha cambiado toda la fisonomía litoral del tramo.

Tras el cordón litoral se encuentra una franja costera discontinua, caracterizada por la presencia de marismas y pantanos, como la marisma de El Cuadro entre Benicàsim y el Grao de Castellón. Esta zona ha sido totalmente invadida por la actividad urbanística. Los únicos accidentes geográficos dignos de mencionar lo constituyen en el extremo norte del tramo el cabo de Oropesa y en su extremo sur el puerto del Grao de Castellón (Fig. 1); siendo el primero de ellos rebasable por las arenas litorales, y el segundo una barrera total al paso de sedimentos, como lo demuestra la gran cantidad de arena acumulada aguas arriba del puerto, las erosiones que se producen aguas abajo del mismo y la ausencia de aterramientos en su bocana.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la División de Estudios Litorales del Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPT).

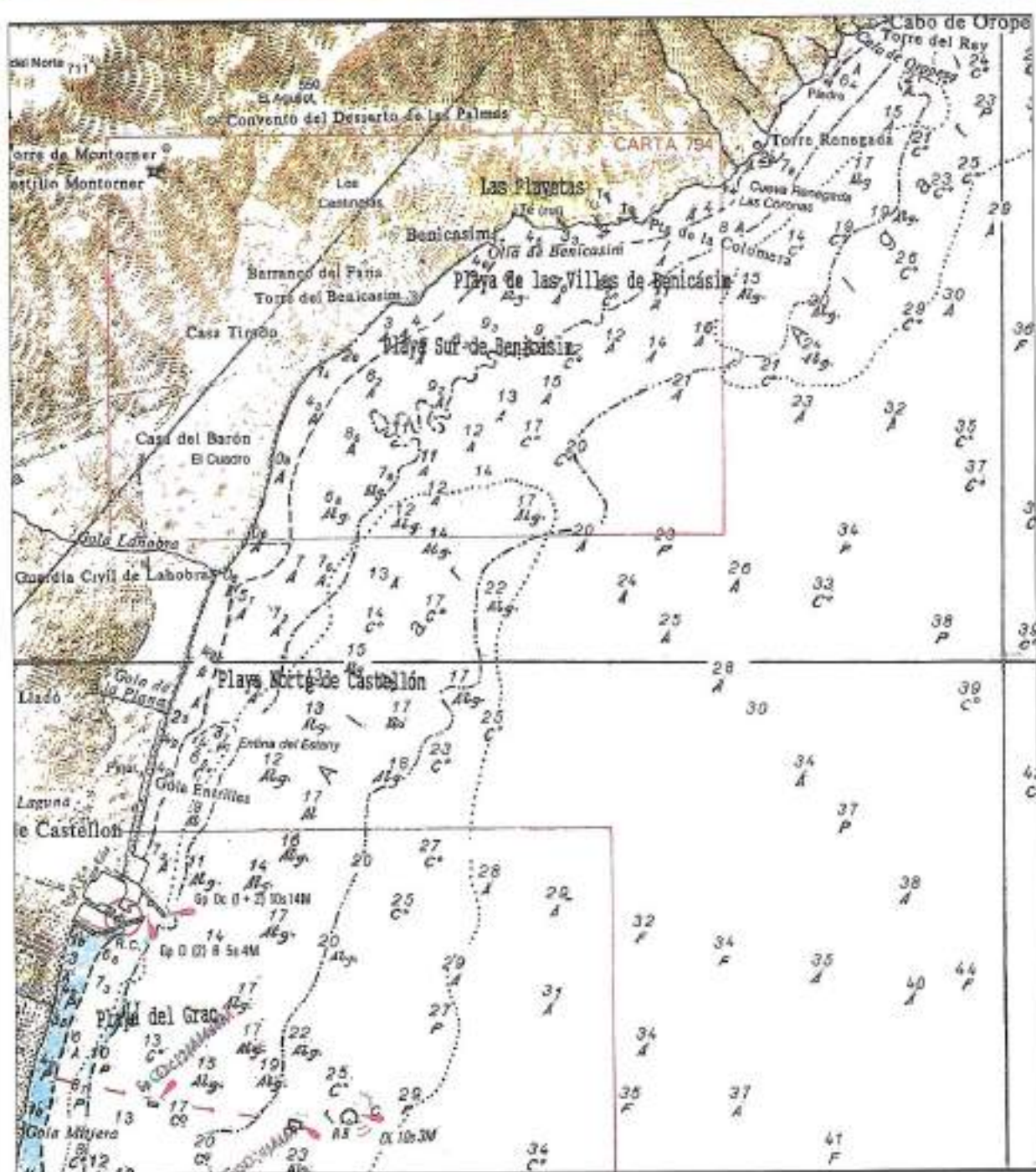


FIGURA 1. Entorno litoral.

Desde la Roca de los Cañones hasta el Grau de Castellón, la costa es una sucesión continua de playas, separadas por obras de defensa y encauzamientos de ríos y barrancos. Dos son las playas que comprenden este estudio y que se localizan dentro del término municipal de Benicàsim; la playa, más septentrional, denominada

de Las Villas de Benicàsim, que arranca 400 metros hacia levante de la Roca de los Cañones (cabo de Oropeza) y se extiende con una longitud de 1.800 metros hasta la desembocadura del barranco de la Parreta (o de Farches); a continuación comienza la playa Sur de Benicàsim, que con una longitud de 4.600 metros llega

con este nombre hasta el fin del término municipal de Benicàsim. Siguiendo hacia el sur, e inmediatamente después de esta última playa, se encuentra la playa Norte de Castellón, alimentada en otro tiempo por el río Seco; tiene una longitud de 2.300 metros y se encuentra apoyada en el contradique norte del puerto del Grao de Castellón por lo que su anchura es variable llegando a alcanzar los 140 metros. Tras el extremo sur del puerto del Grao comienza la playa del Grao de Castellón; tiene una longitud de 2.200 metros y en las proximidades del puerto se encuentra bastante erosionada, debido al efecto del mismo.

La pendiente marina próxima a la orilla son bastante suaves así la curva batimétrica -5 metros se encuentra paralela a la costa y a una distancia media aproximada de 500 metros, lo que confirma la suavidad de la pendiente de los fondos (Fig. 1). La cota -10 metros discurre paralela a la orilla, alcanzando una distancia a la costa de 2.000 metros en su punto más alejado, volviéndose a aproximar a la costa a partir de la Punta de la Colomera (cabo de Oropesa). La batimétrica -20 metros es más uniforme que la anterior, corriendo paralela a la orilla a una distancia media de 3.000 metros, con una máxima distancia a la orilla de 4.000 metros. La cota -50 metros se adentra en el mar a una distancia de 12 a 15 kilómetros siguiendo la dirección NE que es la que marca la costa, pero sin adaptarse a ningún accidente costero.

3. ESTUDIO DEL PROBLEMA

Como se ha indicado en la introducción de este artículo, los problemas existentes en las playas de Benicàsim pueden resumirse en:

1. Proliferación de obras marítimas de defensa en las playas de Las Villas de Benicàsim; dos espigones, un espigón en T y un dique exento unido a tierra por espigón. Y en la playa Sur de Benicàsim; tres espigones en L, un dique exento y un espigón.
2. Zonas de, prácticamente, inexistencia de playa, en la playa Sur de Benicàsim; entre el segundo y tercer espigón en L.

En la figura 2 se ha resumido gráficamente los problemas para su mayor y más rápida comprensión, asimismo en la figura 3 se esquematiza gráficamente las obras existentes en el tramo.

4. CLIMA MARITIMO Y DINAMICA LITORAL

El estudio del clima marítimo se ha centrado principalmente en el conocimiento del viento, corrientes y oleaje dado que las demás variables climáticas tienen poco peso específico en la dinámica litoral general y evolución de la costa en estos parajes mediterráneos.

A. Viento. Los vientos que imperan en el entorno de Benicàsim vienen afectados por la disposición del Siste-

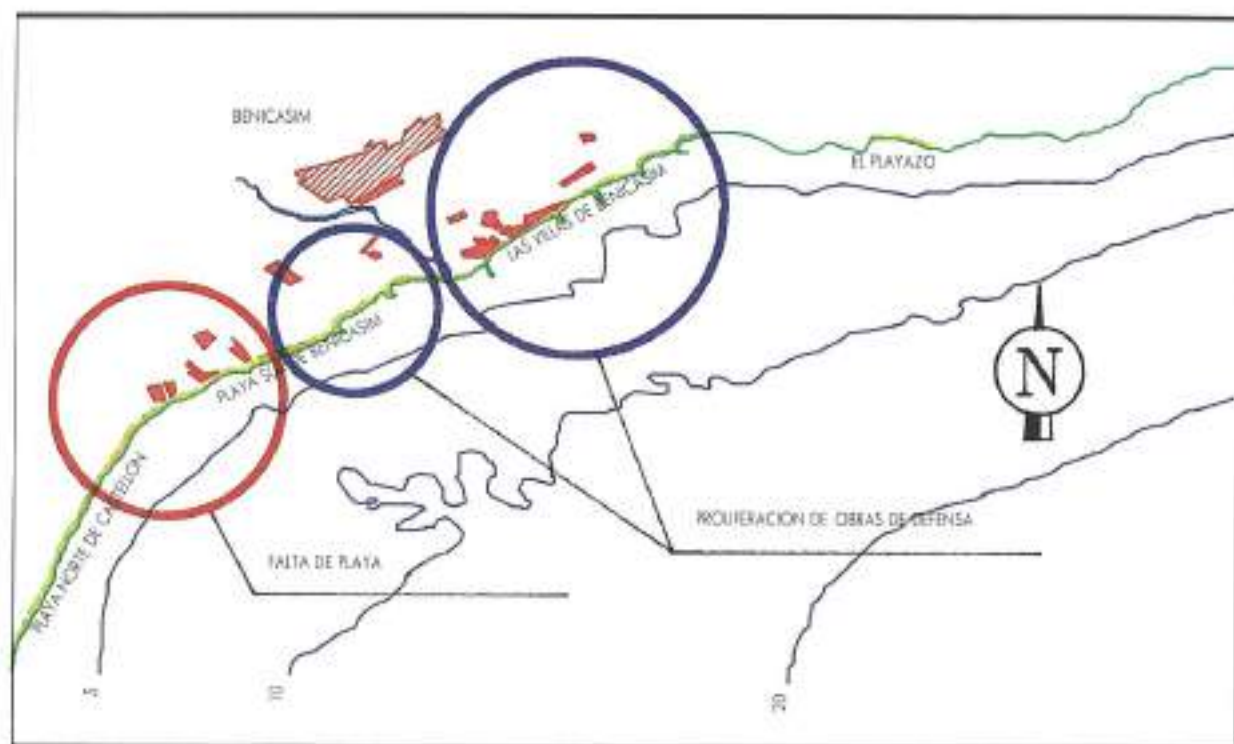


FIGURA 2. Resumen gráfico de los problemas abordados en el estudio.

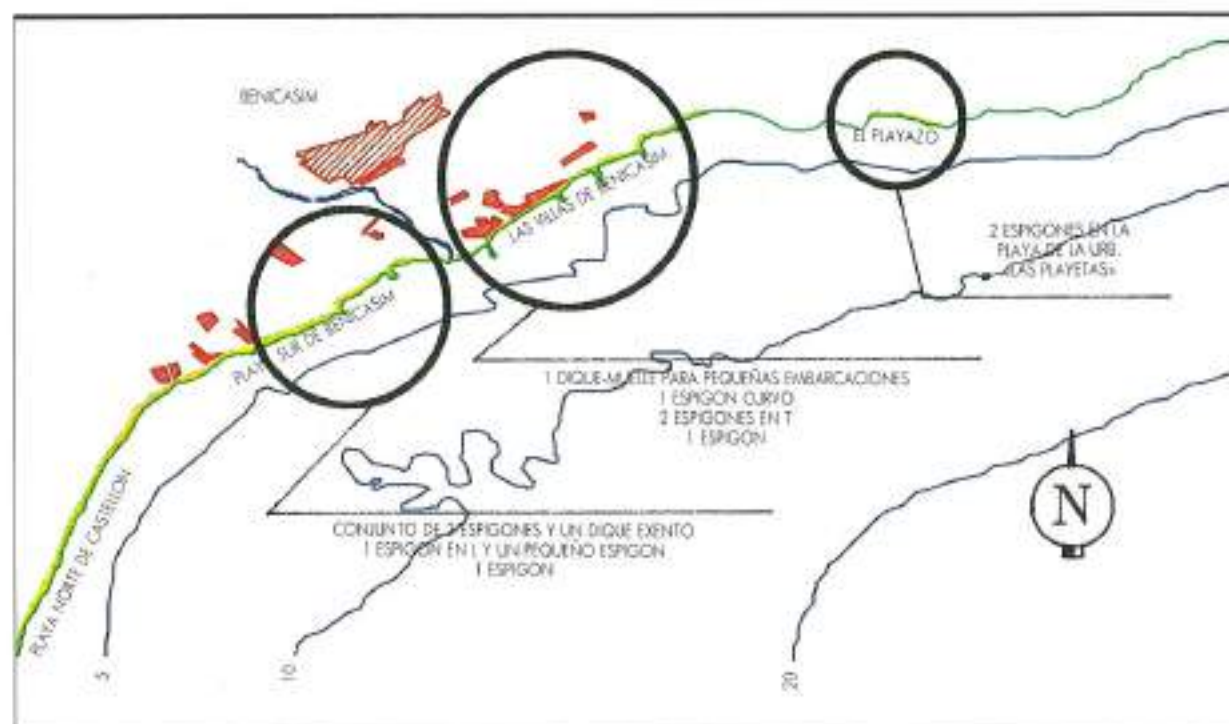


FIGURA 3. Obras marítimas existentes en todo el frente costero de Benicàsim.

ma Ibérico, haciendo que únicamente los vientos de direcciones comprendidas en el arco N-NE-E-SE-S-SO tengan representatividad, salvo los NO duros invernales que corresponden en esta zona con fuertes chubascos.

Tanto en el verano como en el otoño los vientos reinantes son los provenientes del SE, seguidos de los NE, que recalcan en estas costas convertidos en NE, E o SE. En otoño aparecen los vientos de SO, sobre todo cuando se acerca la etapa invernal.

Al comenzar el invierno, los vientos reinantes cambian de cuadrante situándose éstos en el SO, O y NO. Los vientos del NO son vientos fríos con mucho relaje que provienen del Atlántico Norte.

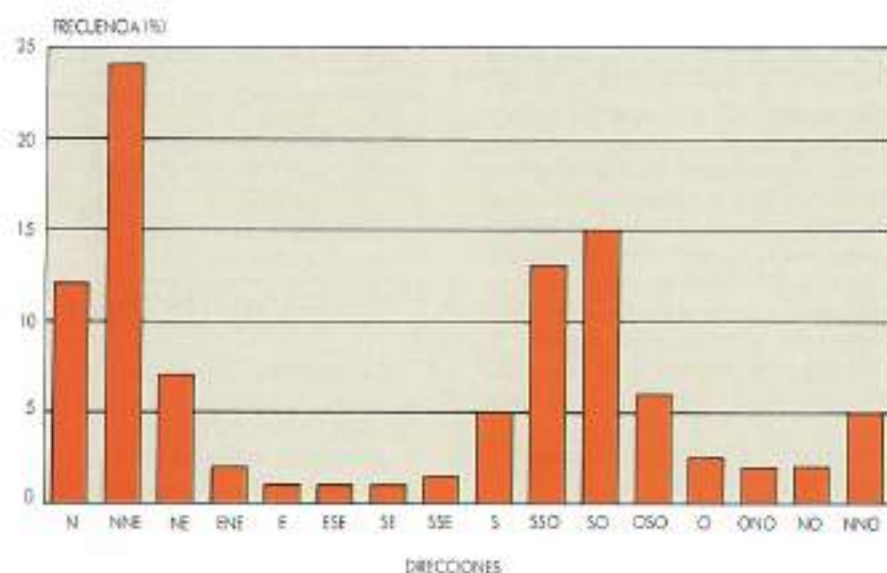
La primavera suele traer una etapa de transición donde no existe un viento claro reinante, teniendo un abanico de vientos reinantes, NE-E-SE-S-SO, estando las demás direcciones protegidas por el Sistema Ibérico, siendo muy extraña la presencia en estas épocas de vientos duros Noratlánticos que la atraviesan.

B. Corrientes. Los tipos de corriente más importantes y con mayor incidencia en la dinámica litoral en las costas de Castellón son las corrientes: General mediterránea, inducida por el viento e inducida por el oleaje. Para estudiarlas se ha recurrido muy especialmente a resultados obtenidos por el equipo de Proceso de Medidas Oceanográficas Avanzadas, dirigido por José Carlos Santús, del Sector de Costas de este Centro y publicados en el «Estudio hidrodinámico en la zona de Castellón» (ver Bibliografía).

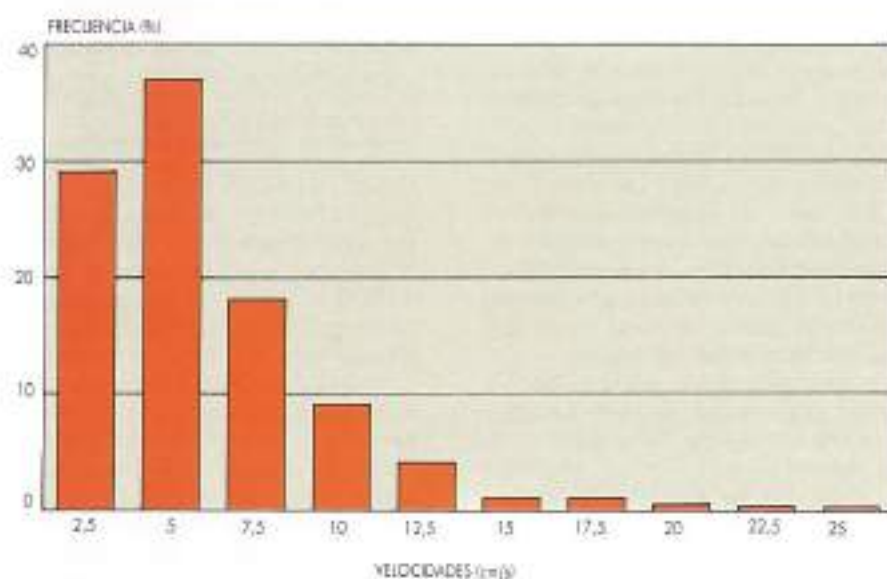
La corriente general mediterránea tiene frente a Benicàsim una componente NE-SO, haciéndose sensible frente al cabo de Oropesa, para alejarse posteriormente de la costa.

Para estudiar las corrientes inducidas por el viento se ha seguido los resultados de las campañas de toma de datos llevadas a cabo entre el 22 de octubre de 1991 y el 19 de noviembre de 1991 por técnicos especializados de este Centro con el fin de realizar el estudio mencionado con anterioridad. El resultado de dicha campaña se ha resumido en la figura 4, en la cual puede apreciarse que las corrientes presentan como direcciones prioritarias el NNE y el SO, disminuyendo de forma paulatina, y casi simétrica, al alejarse respecto a dichas componentes.

La acción continuada del oleaje sobre la costa da como resultado unas corrientes inducidas por el oleaje, cuya resultante es la composición de una corriente normal a la costa y otra paralela a ésta. La primera de ellas, unida a la acción directa del oleaje, es la responsable del perfil transversal costero, así como del transporte que en esta dirección se forme, siendo directamente proporcional a la acción misma del oleaje. La corriente paralela inducida por el oleaje oblicuo incidente en la playa origina el transporte de arenas a lo largo de la costa y por tanto su dirección e intensidad será directamente proporcional al oleaje reinante en esta zona. La corriente neta, o reinante, paralela inducida por el oleaje tiene una dirección NE-SO, pues la frecuencia de pre-

HISTOGRAMA DE DIRECCIONES DE CORRIENTES
(BENICASIM - CASTELLON)

Del 22/10/1991 al 19/11/1991

HISTOGRAMA DE INTENSIDADES DE CORRIENTES
(BENICASIM - CASTELLON)

Del 22/10/1991 al 19/11/1991

FIGURA 4. Histograma de direcciones e intensidades de corrientes, según los resultados del «Estudio hidrodinámico en la zona de Castellón», de J. C. Sanjaume López.

sentación de los oleajes que la pueden generar son mayores, como más tarde se verá, que su dirección opuesta.

C. Sedimentos y fuentes sedimentarias. La unidad sedimentaria que se consideró en el estudio es la limitada al norte por el cabo de Oropesa y al sur por el puerto del Grao de Castellón. Dicha unidad no es una unidad independiente respecto a la dinámica litoral dado que se encuentra abierta en su extremo norte al paso de sedimentos, tal y como lo atestiguan los fondos arenosos frente a los acantilados de la sierra de Oropesa y las continuas acumulaciones de arena al sur de la unidad sedimentaria, frenadas por la barrera total que supone el puerto del Grao de Castellón. Para encontrar el límite norte que independiza la unidad sedimentaria habría que remontar la costa norte hasta alcanzar el puerto de Peñíscola, y aún así hay constancia que material fino procedente del Ebro alcanza las costas de Castellón y aún más al sur.

Las principales fuentes sedimentarias del tramo de costa en estudio las componen los diferentes cauces fluviales (ríos, barrancos y rieras) que desembocan en la unidad sedimentaria. Los cauces con mayor influencia sedimentaria para las costas de Benicàsim son el río Ebro y el río de Cuevas o San Miguel. El río Ebro ejerce su actividad sedimentaria aportando material fino si bien, como es sabido, su actividad como fuente de sedimentos se ha visto diezmada en el transcurso de los años fuertemente. El río de las Cuevas, es el río más próximo a Benicàsim, posee un prominente delta, lo que indica una gran actividad como fuente de material; además a partir de este punto, existe una playa prácticamente continua hasta el cabo de Oropesa.

La plataforma costera frente a Benicàsim (Fig. 5), presenta frente a los acantilados del cabo de Oropesa una franja de arena que alcanza los 20 metros de profundidad; algo más profundo se extiende un algar salpicado de cascajos. Frente a las playas de Las Villas y Sur de Benicàsim se abre una zona de arenas que alcanza los 40 metros de profundidad. Más al sur se extiende un nuevo algar, mayor que el antedicho, desde una profundidad de -10 metros hasta profundidades algo mayores de -20 metros. Entre el algar y la costa existe una franja de arena que forma la playa sumergida.

La playa seca y sumergida de Las Villas de Benicàsim es de arena fina con conchas, de color dorado y cuya naturaleza es silíceo-calcareo. Del análisis de la muestra de arena tomada en esta playa se desprende que la arena tiene un tamaño medio de 0,27 milímetros, siendo los granos más finos de 0,10 milímetros y los más gruesos de 1 milímetro.

D. Oleaje. El oleaje se ha estudiado en base a los datos visuales de oleaje suministrados por el «National Weather Records Center» (NWRC), complementados con los datos de oleaje escalar facilitados por la Red Española de Medida y Registro de Oleaje (REMRO) de

este Centro y por la Red de Registro de Oleaje de la Generalidad de Cataluña (RROGC).

Para definir las características del oleaje en altamar se ha considerado la malla de datos de oleaje comprendida entre los paralelos 39° 54' y 41° norte y los meridianos 0° y 2° este, siendo el número total de observaciones de 3.907, distribuidas de la siguiente manera:

	SEA	SWELL
NÚMERO DE OBSERVACIONES VÁLIDAS	2.623	1.284
NÚMERO DE CALMAS	266	358
NÚMERO DE CONFUSAS	31	85
NÚMERO TOTAL DE OBSERVACIONES		3.907

La figura 6 muestra las frecuencias de presentación del oleaje en direcciones y altura tanto para los oleajes tipo SEA como tipo SWELL.

Además se utilizaron los datos de las dos boyas más próximas a Benicàsim, situadas en Valencia (puerto) y Barcelona (delta del río Llobregat), perteneciendo la primera a la REMRO y la última a la RROGC.

De acuerdo con la configuración de la costa, los oleajes que pueden incidir en ella, y por tanto susceptibles de consideración para el análisis de la dinámica litoral, serán los limitados por la Punta de la Colomera hacia el norte y por el morro del dique del puerto del Grao de Castellón hacia el sur, tanto para el oleaje SEA como para el SWELL. Ambos límites son los siguientes:

LÍMITES DE OLAJE SEA Y SWELL	
NORTE (PTA. DE LA COLOMERA)	75°
SUR (PUERTO DE CASTELLÓN)	204°

Con las limitaciones impuestas a la acción directa del oleaje, y teniendo en cuenta el clima de oleaje en altamar, las direcciones de oleaje predominantes en la playa de Benicàsim son, tanto para el oleaje SEA como para el SWELL, el este y el sur; predominando el sur con un 7,68 % para el oleaje SEA y para el SWELL el oleaje predominante es el este con un 8,95 %.

El oleaje tipo SEA se presenta en las costas de Benicàsim con altura de ola significativa $H_{1/3}$ máxima de 5 metros para la dirección este y de 2,5 metros para los oleajes del segundo cuadrante (este-sur) y sur. Para todas las direcciones, el período predominante es inferior a los 5-6 segundos. El oleaje tipo SWELL, en las proximidades de Benicàsim, tiene similares características en general. La máxima altura de ola significativa $H_{1/3}$ es de 4 metros para el este, siendo inferior a esta altura para el este-sur, suroeste y sur. El período de oleaje predominante está comprendido entre 5-6 segundos.

Así, pues, se puede reseñar que el oleaje que puede incidir en Benicàsim es de escasa entidad al encontrarse

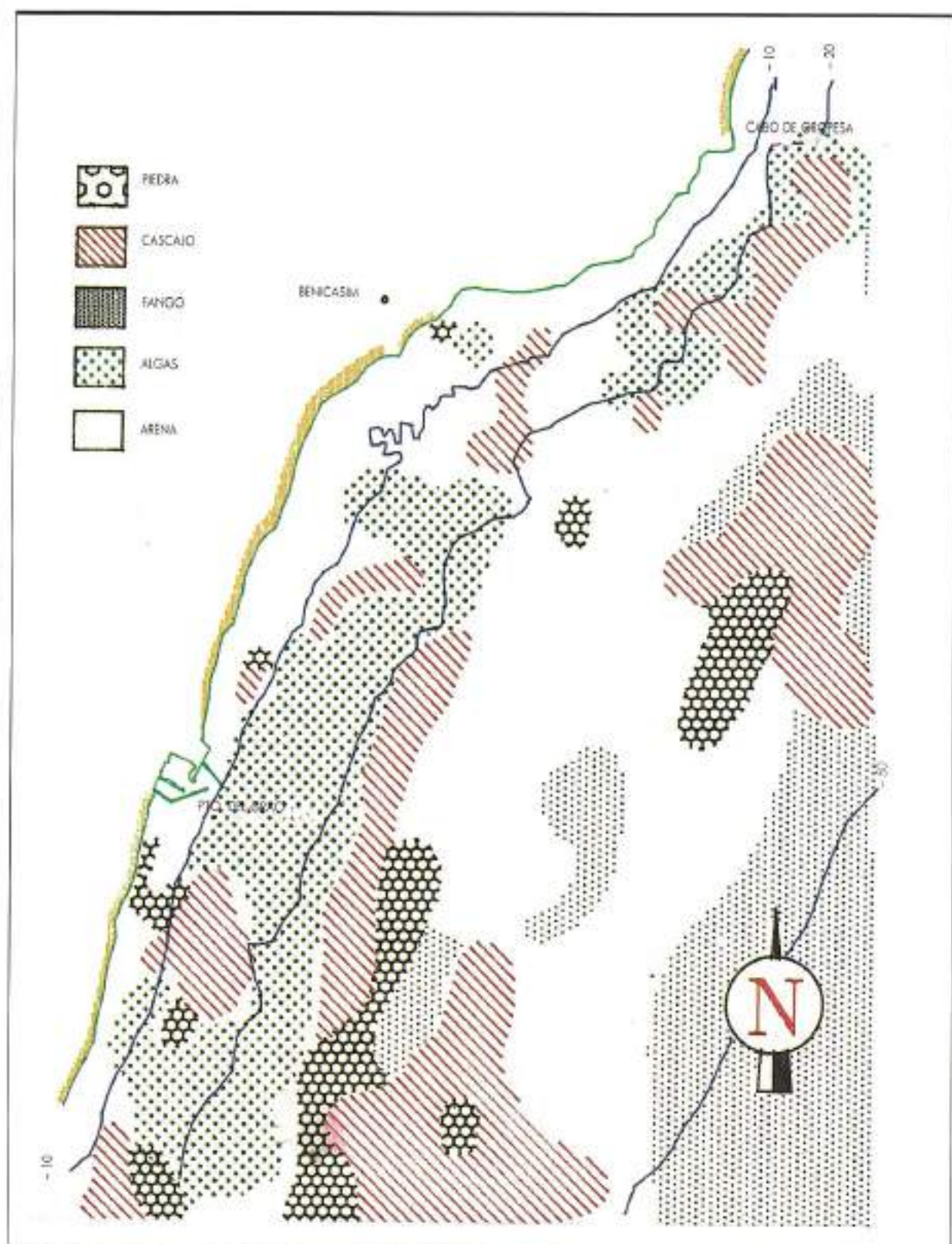
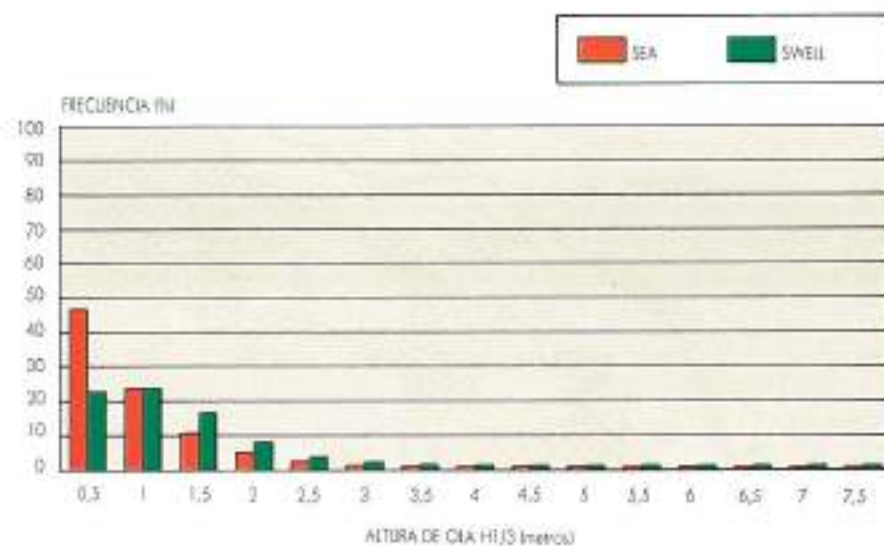


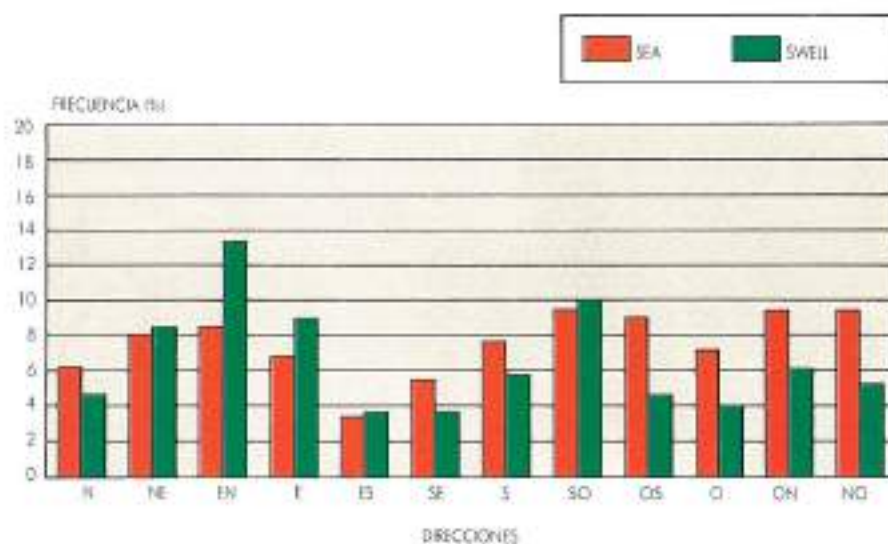
FIGURA 5. Esquema sedimentario de la plataforma costera frente a Benicàsim.

BENICASIM (datos visuales)
ZONA: 39.9-41 NORTE/O-2 ESTE



Fuente: N.W.R.C

BENICASIM (datos visuales)
ZONA: 39.9-41 NORTE/O-2 ESTE



Fuente: N.W.R.C

FIGURA 6. Frecuencias de presentación del oleaje visual en direcciones y altura.

abrigado de los oleajes de mayor fuerza: los provenientes del noreste y este-norte por el cabo de Oropeza (punta Colomera); del suroeste por el puerto del Grao de Castellón.

D. Transporte sólido litoral. El transporte sólido litoral se estudió en dos escalones:

1. Primeramente se estudió el sentido y dirección del transporte, así como el valor cuantitativo que pudiera tener éste, dado todo ello por el estudio de las formas morfológicas que a lo largo de los años se han ido formando en el litoral.

2. Seguidamente se determinó y cuantificó el transporte sólido litoral en Benicàsim, recurriendo a dos métodos: el primero de ellos mediante formulación teórica, y el segundo basado en las acumulaciones y erosiones dadas por los Planos de Evolución de la Línea de Costa.

A lo largo del tramo de costa comprendido entre el cabo de Oropeza y el puerto del Grao de Castellón existen evidencias claras que indican el sentido e intensidad del transporte sólido litoral:

1.º El puerto del Grao ha ido acumulando aguas arriba a lo largo de los años gran cantidad de arena.

2.º La forma que toma la línea de costa en los distintos tramos en que se encuentra dividida la playa de Las Villas de Benicàsim indica un pequeño transporte norte-sur.

3.º El «triángulo» de acumulaciones frente al puerto de Grao de Castellón es muy alargado, en dirección sur, lo que indica un sentido del transporte sólido norte-sur pequeño, con una resultante de oleaje muy normal a la costa.

El cálculo teórico del transporte sólido litoral en el entorno de Benicàsim se determinó en tres puntos distintos: en la playa de Las Villas de Benicàsim, y en los extremos sur de las playas sur de Benicàsim y norte de Castellón, cuyas normales a la costa son 141°, 106,5° y 105,5°, respectivamente.

Los límites de oleaje en cada uno de los tres puntos son los siguientes:

PLAYA	SEA Y SWELL
LAS VILLAS	75° y 204°
SUR DE BENICÀSIM	61° y 193°
NORTE DE CASTELLÓN	46,5° y 181°

La fórmula utilizada fue la de «Scripps Institution» con el coeficiente de Komar:

$$H = K (E.Cg)_0 \text{ sen } 2A_0$$

Siendo H el peso sumergido del sedimento transportado en kilogramos por segundo; $E.Cg$, el flujo de energía, y A la oblicuidad, todos ellos evaluados en el punto de rotura.

Los resultados obtenidos, según se tome altura de ola máxima 4 metros (Valencia) o 5 metros (Llobregat), se resumen en el cuadro adjunto y en la figura 7 B.

H/3		LAS VILLAS	SUR BENIC.	NORTE CAST.
4	TRANS. BRUTO	416	449	633
(m)	TRANS. NETO	30	182	389
5	TRANS. BRUTO	436	455	656
(m)	TRANS. NETO	42	199	412

Los valores vienen en miles de metros cúbicos.

Otra forma de calcular el transporte sólido litoral es mediante el uso de los Planos de Evolución de la Línea de Costa. Para ello se dividió la costa entre Benicàsim y el puerto del Grao de Castellón en seis tramos, determinándose para cada uno de ellos la variación de superficie que se ha producido entre dos líneas de costa. Así la pérdida o aumento de material en cada tramo vendrá representado por la variación de superficie multiplicado por la profundidad activa de la playa, habiéndose estimado ésta en 7 metros de media.

Una vez conocida la variación de volumen para cada tramo, y considerando que el puerto del Grao de Castellón es una barrera total al paso de sedimentos, el transporte sólido litoral que sale de cada tramo vendrá representado por:

$$Q_i = Q_{i-1} + \sum Vol_i$$

Teniendo como condición inicial que $Q_0 = 0$ (barrera total). El resultado de la evaluación del transporte por este método aparece en la figura 7 A, en la que se representa el transporte sólido litoral medio anual (línea roja) y el transporte máximo que se ha producido en cada uno de los tramos considerados (línea verde). Así, pues, se aprecia que el transporte medio en todo el litoral de Benicàsim es algo superior a los 60.000 m³/año, decreciendo paulatinamente al entrar en el «triángulo» de retención de arenas del puerto del Grao de Castellón.

Comparando los cálculos del transporte de forma teórica, y mediante los Planos de Evolución de la Línea de Costa, puede apreciarse que existen ciertas contradicciones, especialmente en los extremos del tramo.

La capacidad del transporte neto determinado para la playa de Las Villas de Benicàsim se encuentra comprendido entre 30.000 y 90.000 m³, habiendo dado el valor máximo anual en el período comprendido entre 1973 y 1977, si bien tiene un valor medio real de 60.000 m³ (Fig. 7 A). Para la playa Sur de Benicàsim, la capacidad de transporte sólido litoral neto se encuentra comprendido entre cerca de 200.000 y 90.000 m³/año, teniendo un valor real medio de 60.000 m³/año. El mayor alejamiento entre los valores calculados se da para la playa Norte de Castellón; dando valores máximos de la capacidad del transporte sólido litoral neto de

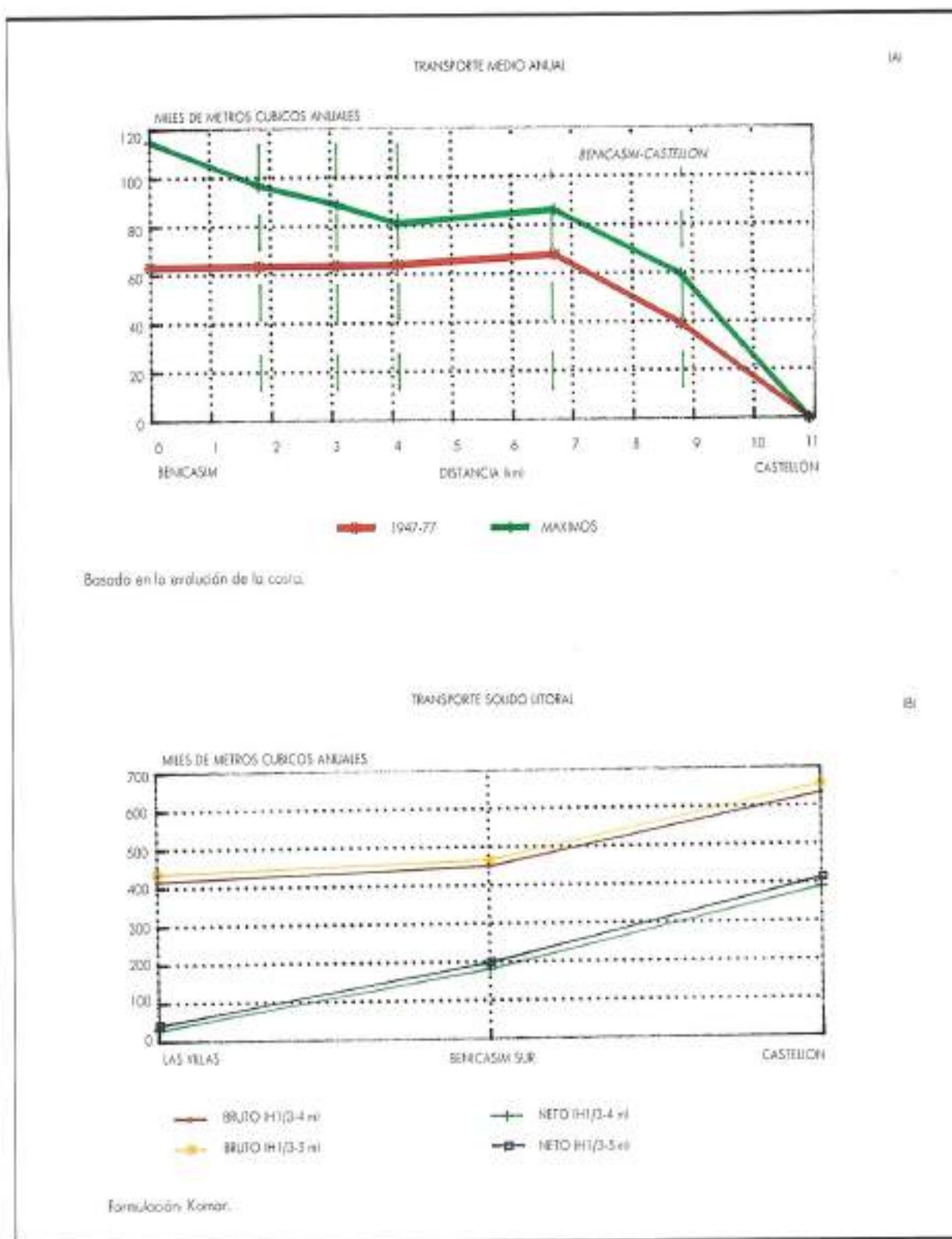


FIGURA 7. Transporte sólido litoral. A) Calculado mediante los planos de Evolución de la línea de costa. B) Calculado mediante la fórmula de Komar.

400.000 m.³/año, mientras los valores reales dan un valor situado en torno a los 40.000 m.³/año.

Todas estas contradicciones en los valores del transporte podrían achacarse principalmente a los errores que se cometen al asumir ciertas hipótesis no válidas en su totalidad en los casos donde la costa se aleja ciertamente de la configuración ideal que se la ha supuesto y donde los datos de oleaje no se encuentran lo suficientemente contrastados. Pero, también, no es menos cierto que la determinación del transporte sólido litoral neto mediante los Planos de Evolución de la Línea de Costa puede dar lugar a errores, tanto intrínsecos en ellos mismos, como por desconocimiento de la variación de unos determinados parámetros; variación de pendiente de la playa (tanto sumergida como seca); aumento de reflexiones del oleaje debido a nuevas construcciones, etcétera.

Por tanto, el transporte sólido litoral calculado tedricamente mediante la fórmula de Komar habría que suponerlo como la capacidad de transporte que tendría el mar si la costa se adaptase a las hipótesis de partida, esto es, si la costa fuese rectilínea sin accidente geográfico alguno. Siendo el valor real del transporte sólido en el tramo de costa estudiado de un valor más próximo al dado por el cálculo mediante los Planos de Evolución de la Costa.

5. EVOLUCION HISTORICA DE LA LINEA DE COSTA

Para determinar y precisar la evolución producida por la línea de costa a lo largo del tiempo se ha recurrido a cuatro fuentes principales de información:

1.^a *Cartas náuticas* levantadas a lo largo de la historia; desgraciadamente sólo se ha efectuado un solo levantamiento para cartas náuticas. Este levantamiento se realizó en 1878 y desde entonces sólo han aparecido dos ediciones diferentes de dicha carta náutica número 794, en 1881, y 1961, si bien esta última de 1961 ha tenido hasta la actualidad seis impresiones diferentes con correcciones. Las correcciones efectuadas en las diferentes impresiones de la carta náutica de 1961 son de, precisamente, la línea de costa, por lo cual posee cierto valor.

2.^a *Fotografías aéreas verticales de proyección estereoscópica*; el número de vuelos que se posee, nueve en total, es grande por lo que se puede estudiar con toda claridad la evolución que ha sufrido la costa desde 1947, siendo éstos:

FECHA	ESCALA
Febrero de 1947	1/44.000
Junio de 1957	1/33.000
Agosto de 1965	1/20.000
Junio de 1972	1/18.000
Marzo de 1977	1/15.000
Diciembre de 1981/julio de 1983	1/12.000

Abril de 1986	1/18.000
Marzo de 1989	1/5.000
Mayo de 1992	1/9.000

3.^a *Restitución de la línea de costa* mediante las fotografías aéreas del punto anterior; existen Planos de Evolución de la línea de Costa desde 1947 hasta 1981/83.

4.^a *Levantamientos batimétricos parciales* del entorno de Benicàsim; desgraciadamente no se obtuvo más que un levantamiento de mayo de 1992 de toda la zona costera con obras de defensa, por lo que en la práctica no aportó suficientes datos para determinar la evolución.

La base principal para conocer la evolución en el tiempo de la línea de costa la forma los Planos de Evolución de la Línea de Costa, complementados con las fotografías aéreas y cartas náuticas.

Desde 1981/83 hasta hoy en día no hay restitución de la línea de costa por lo que la variación de la línea de orilla se estudiará, para todos los tramos, directamente mediante la comparación de las fotografías de los vuelos indicados en el apartado anterior (abril de 1986, marzo de 1989 y mayo de 1992).

Para el análisis de la evolución producida en la línea de costa de la zona en estudio, comprendido entre la Punta de los Cañones y el dique norte del puerto del Grao de Castellón, se ha dividido en los seis tramos (Fig. 8) siguientes:

- 1.^o Playa de Las Villas de Benicàsim.
- 2.^o Zona norte de la playa Sur de Benicàsim.
- 3.^o Zona meridional de la playa Sur de Benicàsim.
- 4.^o Fin de la playa Sur de Benicàsim e inicio de la playa Norte de Castellón.
- 5.^o Zona norte de la playa Norte de Castellón.
- 6.^o Zona sur de la playa Norte de Castellón.

Como puede apreciarse en la figura 8, los cuatro primeros tramos de la zona estudiada han permanecido estables, con ligeras alternancias de acreción y erosión de la línea de costa. A partir del tramo 5.^o, y muy especialmente del 6.^o, la línea de orilla ha estado en continuo crecimiento, teniendo avances medios anuales de costa, en las proximidades del contradique del puerto del Grao, comprendidos entre 3 y 8 metros. Así, pues, las playas de Benicàsim, tanto Las Villas como la Sur, se encontraban en equilibrio, con muy ligeras pérdidas de arena, tal y como lo reflejan los Planos de Evolución de la Línea de Costa. Habiendo sido necesaria la construcción de obras marítimas de defensa de costas en los diversos períodos antes indicados, debido a la pérdida de superficie de la playa de Las Villas de Benicàsim originada por la invasión urbanística, y a la necesidad de creación de playa donde no existía (playa Sur de Benicàsim (Fig. 9)).

6. ESTUDIO DE MEJORAS EN LAS PLAYAS DE BENICASIM

Para abordar dichas mejoras, se estudiará separadamente las playas de Las Villas y Sur de Benicàsim, dada

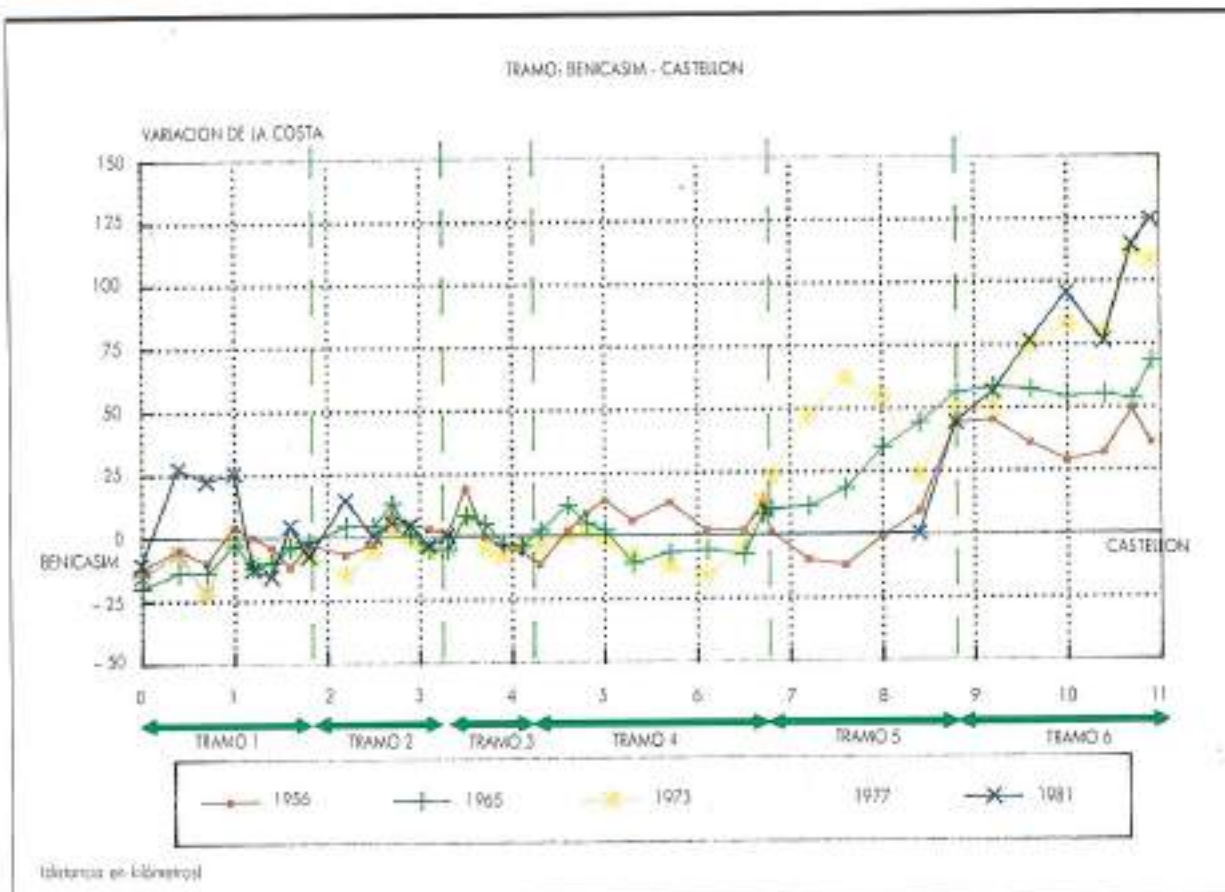


FIGURA 8. Evolución de la línea de costa del tramo en estudio, determinado mediante la restitución fotogramétrica de la línea de costa.

las diferencias morfológicas y de tratamiento histórico de las mismas.

La playa de Las Villas de Benicàsim se formó a resguardo del cabo de Oropeza, apoyada en él y en el delta del barranco de Parreta (o de Farches), hoy en día poco reconocible. Su forma rectilínea en dirección NE-SO parece indicar que la resultante del oleaje se encuentra próxima a la normal a la costa. Desde 1947 no ha sufrido grandes variaciones la línea de orilla, permaneciendo estable, con avances en los últimos tiempos debido al aporte de arena en las distintas celdas que forman la playa. El problema general que presenta esta playa es la proliferación de obras de defensa que tuvieron que construirse desde los años 70 debido, sin duda, a la presión urbanística que se ejerció sobre todo el frente costero que redujo el área de uso de la playa.

Se llegó a la conclusión, tras el estudio efectuado del comportamiento dinámico de la playa, que sería más aconsejable imitar la propia evolución natural, avanzando el apoyo original de la playa, delta del barranco de Parreta, de manera artificial, pudiendo ser válido espigón en T , y aportando arena a la playa, para avanzar su línea de orilla, eliminando el resto de las actuales obras de defensa.

Como solución final se propuso la construcción de un espigón, como apoyo sur de la playa de Las Villas de Benicàsim, pudiendo ser éste en T o recto.

Para el primer tipo de estructura, espigón recto, la longitud de éste ha de ser tal que alcance la profundidad activa $d_1 = 4,32$ metros, esto es, tomando como origen el punto inicial de la playa recuperada, la longitud que se le debe dar al espigón es:

$$L = a + d_1/p$$

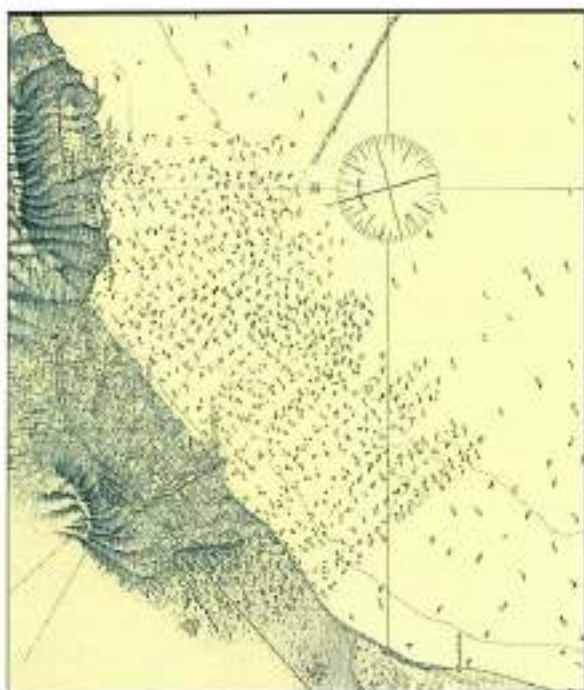


FIGURA 9 A. Carta náutica núm. 794 de 1878.



FIGURA 9 B. Carta náutica núm. 794 de 1971.



FIGURA 9 C. Carta náutica núm. 794 de 1973.



FIGURA 9 D. Carta náutica núm. 794 de 1983.

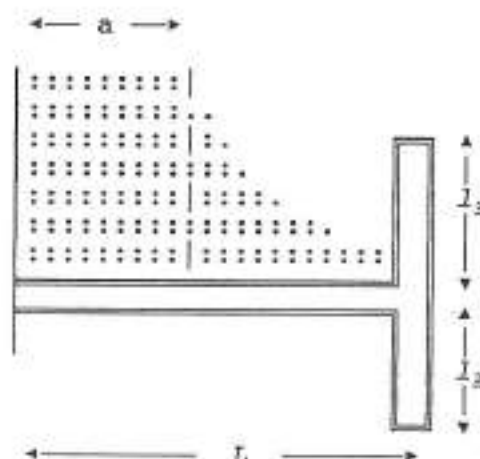
Siendo p la pendiente de la playa, que tomando el valor medio para la celda actual formada por el tercer espigón y el espigón en T , da una pendiente aproximada de 0,012. Y a la anchura de playa a crear. Así sustituidos los valores en la anterior fórmula da una longitud de espigón de:

$$L = 360 + a$$

Así, por ejemplo, para formar una playa de 60 metros, el espigón en cuestión debiera medir 420 metros.

Si se eligiese el segundo tipo de estructura, espigón en T , exigiéndole la misma forma de trabajo que la del actual espigón en T que va a sustituir, la longitud del eje del espigón ha de ser:

$$L = a + L_{actual}$$



Suponiendo que al abrigo de la cruceta del espigón en T se formara un tramo de playa en forma de espiral de 27° , valor medio que resultaba de la aplicación de la teoría de R. Silvester a la actual playa formada a resguardo del espigón en T que se quiere modificar, debiéndose de cumplir que:

$$\operatorname{tg}(\beta) = \operatorname{tg}(27^\circ) = (L - a)/(l_1 - l_2)$$

Siendo:

L = longitud del espigón = $L_{actual} + a$

l_1 = longitud del tramo de bahía considerado = 500 metros

l_2 = longitud del brazo interior de la cruceta.

Sustituyendo da un valor para la longitud interior del brazo de la cruceta del espigón en T de:

$$l_2 = 108 \text{ metros}$$

Con lo que se mantendría, como es lógico, la longitud actual de la cruceta del espigón en T . En la figura 10 se muestran las soluciones apuntadas anteriormente.

El volumen de arena a aportar, con 1.800 metros de

longitud de orilla, para formar una playa de anchura «a» será de:

$$Vol = 15.264 a \text{ (m}^3\text{)}$$

Así, por ejemplo, para formar una playa rectilínea con un aumento medio de anchura de 60 metros, sería necesario aportar un volumen aproximado de arena de:

$$Vol_{60} = 920.000 \text{ m}^3$$

La playa Sur de Benicàsim no ha existido como tal playa hasta fechas recientes, que debido a las necesidades turísticas comenzó su uso como zona de baños.

Como se ha visto en el punto anterior, la resultante del oleaje en la playa de Las Villas de Benicàsim se encuentra próxima a la normal a la costa, lo que indica un transporte sólido litoral neto pequeño. La extensión y forma del área de acumulación de arena que se ha ido produciendo a lo largo de los años en la playa Norte de Castellón debido al puerto del Grao, demuestra que la resultante del oleaje no es muy tendida, estando próxima a la normal. Así, pues, la playa Sur de Benicàsim se encontrará, como razonablemente parece, en una situación intermedia a las anteriormente descritas y, por tanto, la resultante del oleaje se situará cercana a la normal a la costa.

Por tanto, la solución para la creación de una playa de suficiente ancho sería similar a la adoptada para la playa de Las Villas de Benicàsim, si bien ésta deberá tener dos apoyos artificiales, pudiéndose ser válidos: el espigón más aguas abajo, con las reformas necesarias, para el apoyo sur, y el último o bien el primer espigón del conjunto de dos espigones en L con las modificaciones necesarias.

Las variables que condicionan dimensiones de los espigones de apoyo tienen el mismo valor que en la solución adoptada para la playa de Las Villas de Benicàsim, siendo válidos los cálculos para la playa Sur de Benicàsim, si bien ahora la pendiente de la playa oscila entre 0,012 y 0,018, en proximidades del apoyo sur y en las del apoyo norte, respectivamente. Por tanto, la longitud del espigón recto oscilaría entre:

$$L_p = 0,012 = 360 + a$$

$$L_p = 0,018 = 240 + a$$

Así, por ejemplo, para formar una playa de 60 metros el espigón de apoyo sur debiera medir 420 metros y el espigón de apoyo norte 300 metros.

El volumen de arena a aportar para crear una playa de 1.900 metros de longitud y «a» de ancho sería de:

$$Vol = 16.112 a \text{ (m}^3\text{)}$$

Por ejemplo, para formar una playa, del mismo ancho dado para la playa de Las Villas de Benicàsim, de 60 metros de anchura media sería necesario aportar un volumen aproximado de arena de:

$$Vol_{60} = 967.000 \text{ m}^3$$

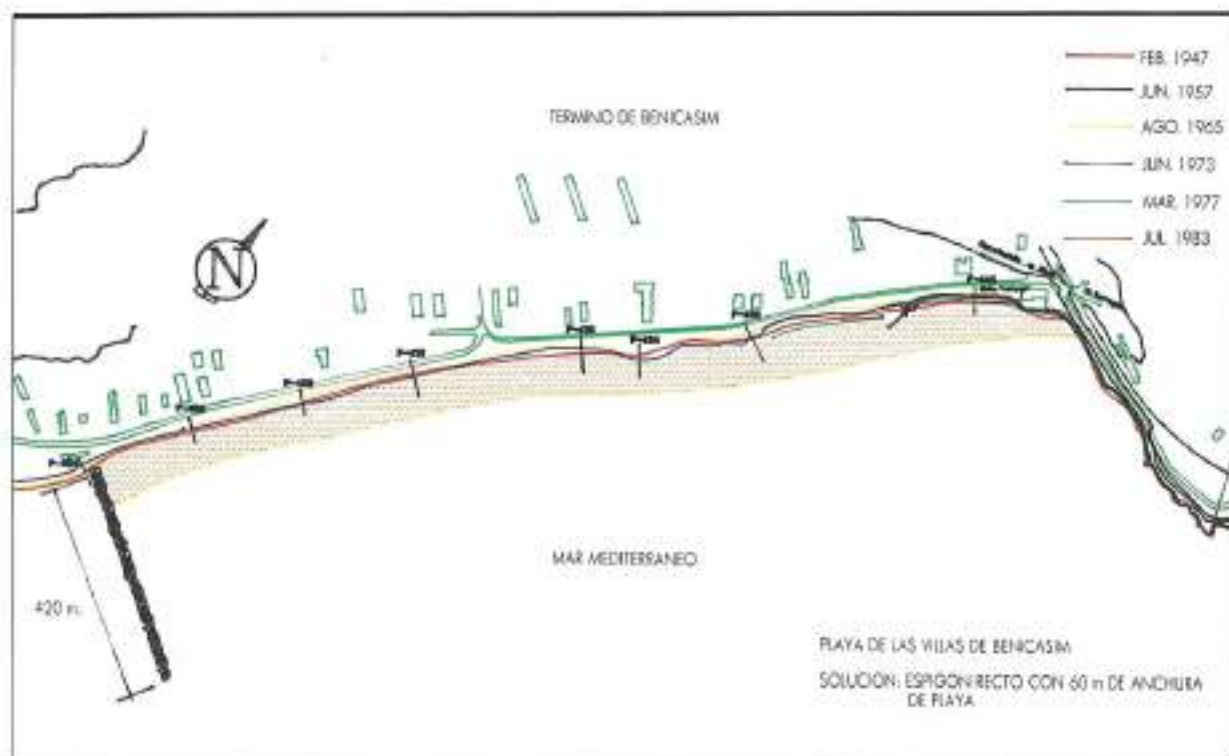


FIGURA 10 A. Solución I propuesta para la mejora de la playa de Las Villas de Benicàsim.

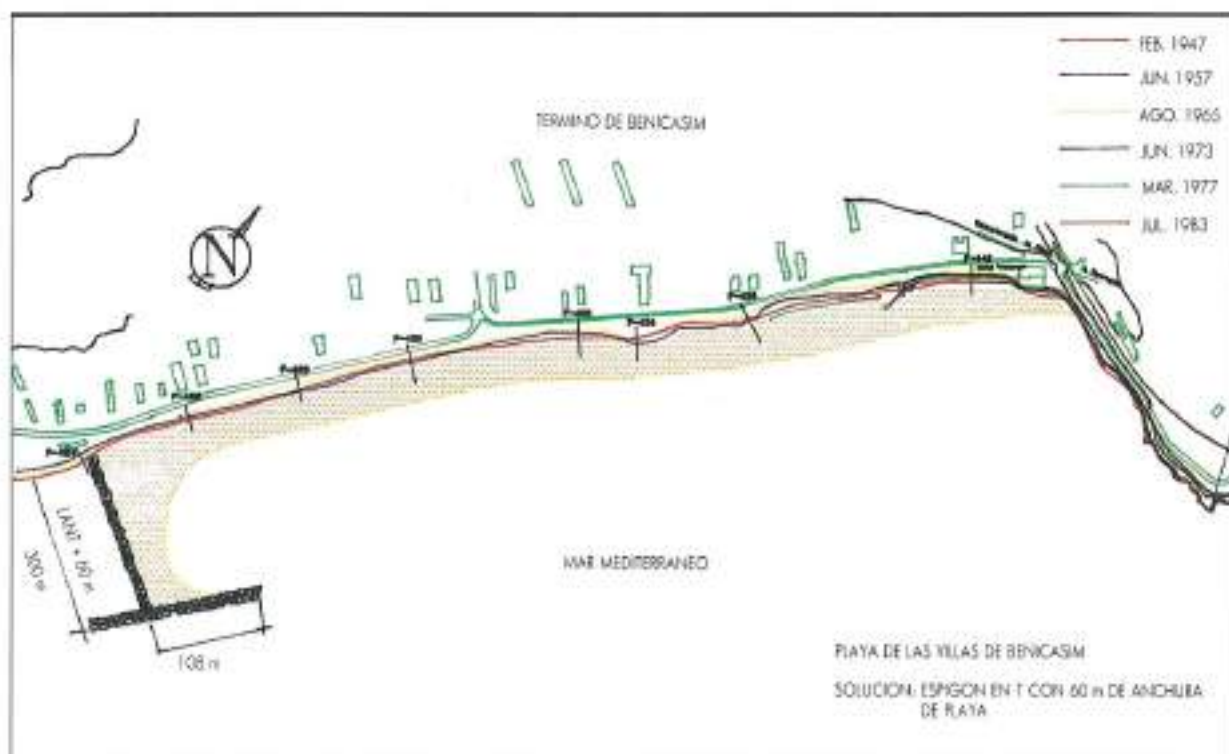


FIGURA 10 B. Solución II propuesta para la mejora de la playa de Las Villas de Benicàsim.

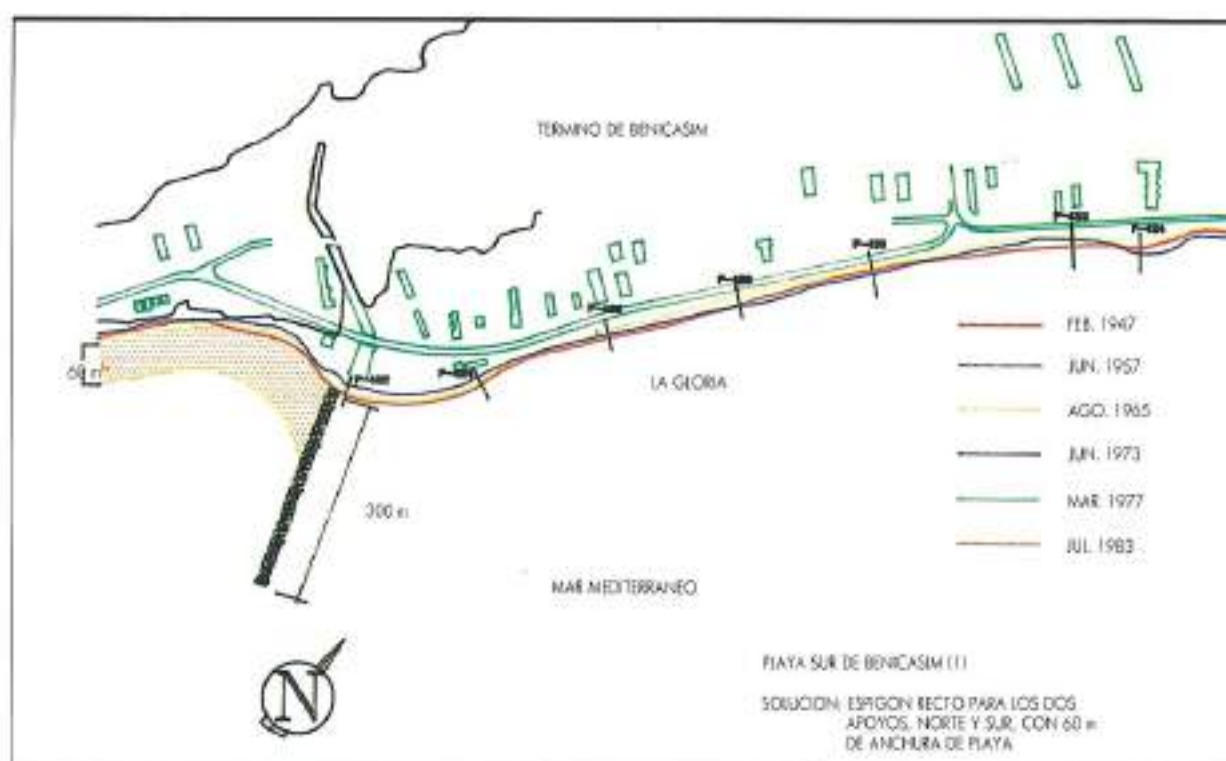


FIGURA 11 A. Solución I propuesta para la mejora de la playa Sur de Benicasim.

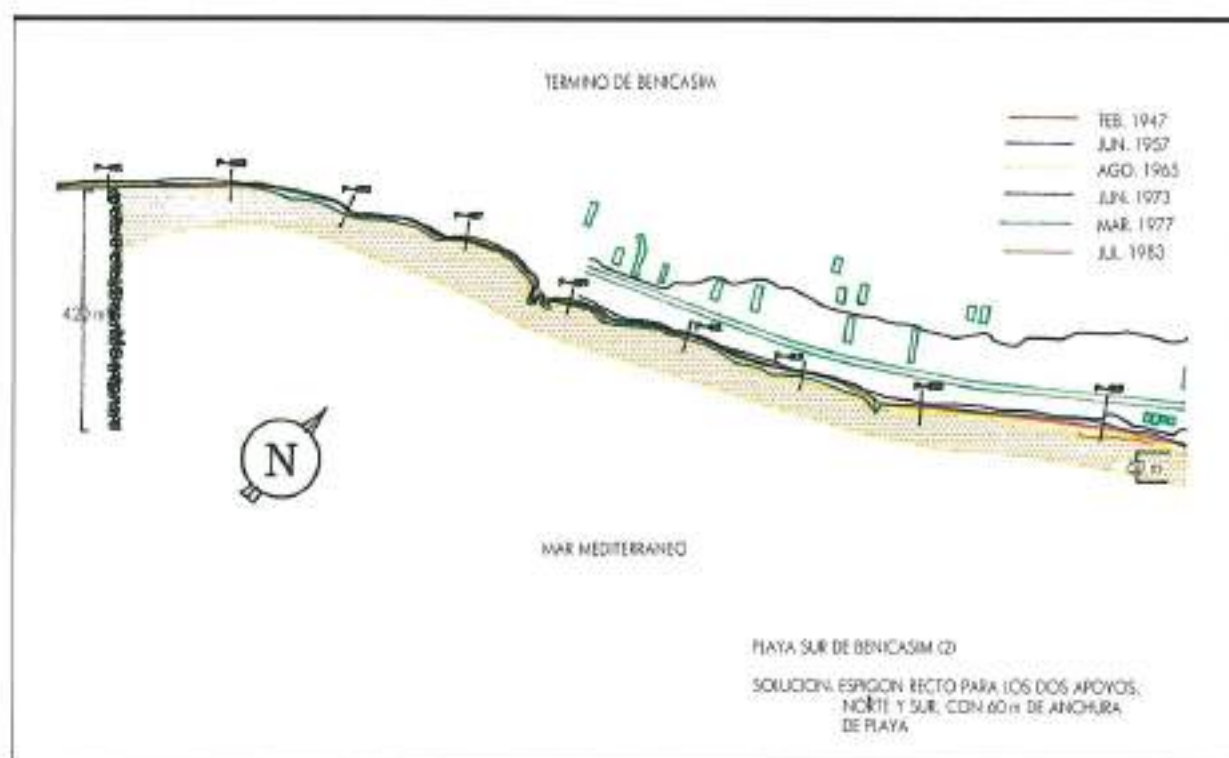


FIGURA 11 B. Solución II propuesta para la mejora de la playa Sur de Benicasim.

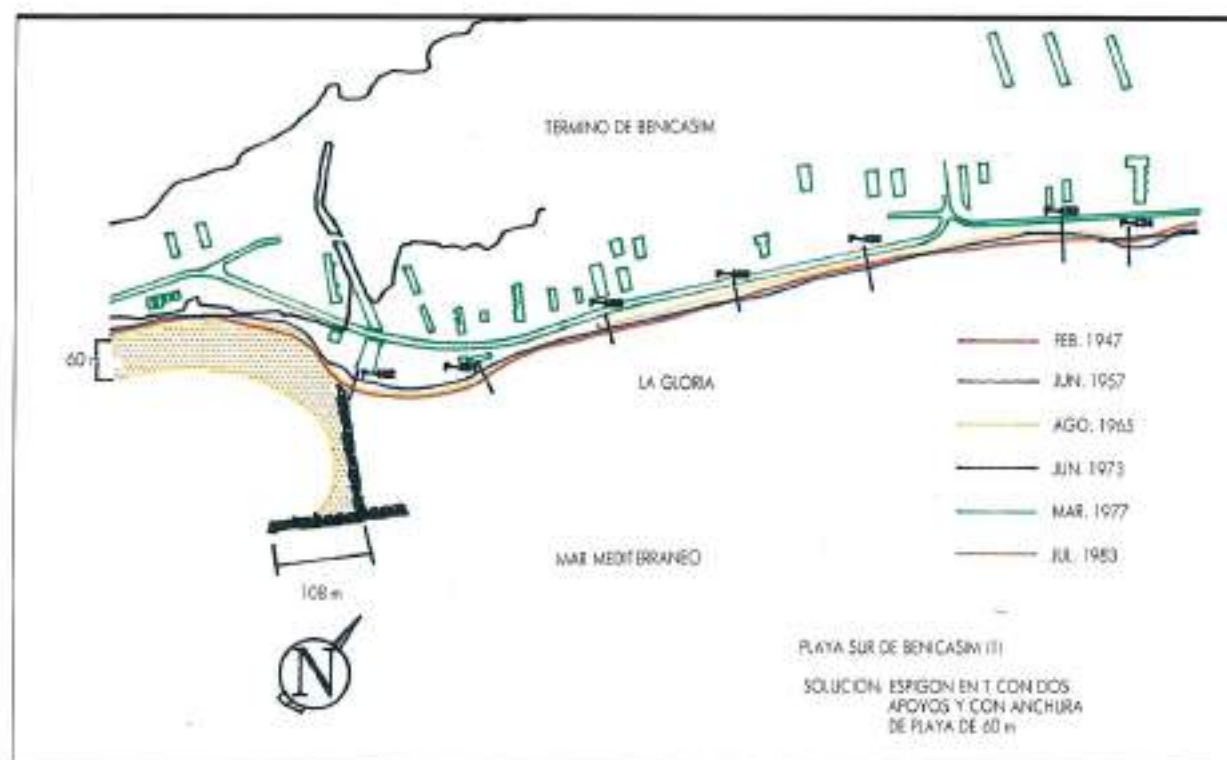


FIGURA 11 C. Solución II propuesta para la mejora de la playa Sur de Benicàsim.

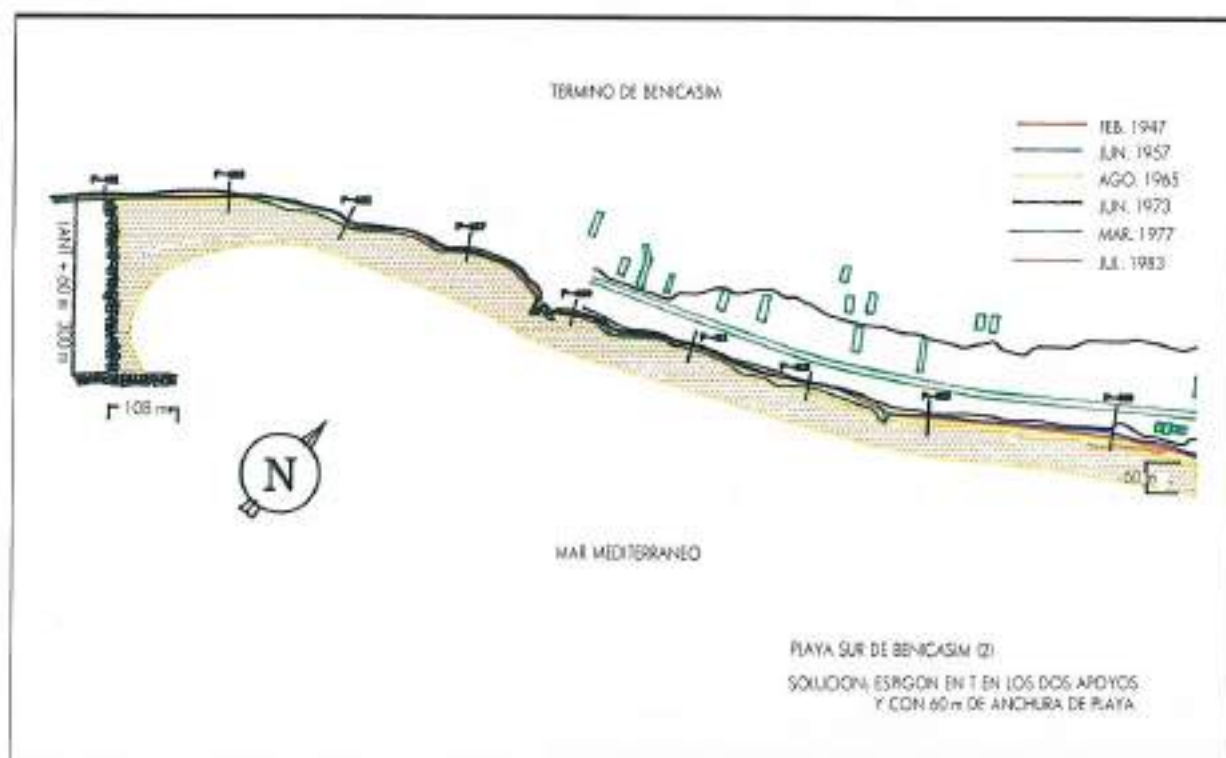


FIGURA 11 D. Solución II propuesta para la mejora de la playa Sur de Benicàsim.

En la figura 11 se muestran las soluciones recomendadas en este estudio, dibujadas sobre los Planos de Evolución de la Línea de Costa, al igual que la figura 10.

7. AGRADECIMIENTO

El autor de este estudio tiene que agradecer la impecable labor de dibujo y delineación de don Carlos Redondo Morejón, así como la siempre inestimable ayuda de Francisco Javier Sánchez Palomar.

BIBLIOGRAFIA

1. SANTAS LOPEZ, J. C., y MUÑOZ ALVARADO, F. (1992). «Estudio hidrodinámico en la zona de Castellón». Centro de Estudios de Puertos y Costas (Madrid).
2. AURELIO, G. I. (1956). «Costas de España y averías en sus puertos (sector de la costa desde la frontera francesa hasta el cabo de San Antonio)». Comisión Administrativa de Puertos (Madrid).
3. KIYOSHI, H. (1988). «Nearshore dynamics and coastal processes». University of Tokyo Press (Tokio).
4. DE LA PEÑA OLIVAS, J. M. (1990). «Estudio sistemá-

tico de perfiles de playas». Centro de Estudios de Puertos y Costas (Madrid).

5. DE LA PEÑA OLIVAS, J. M. «Criterios de rotura de oleaje I, II y III». *Ingeniería Civil*, núms. 65, 69 y 72.

6. DE LA PEÑA OLIVAS, J. M.; SANCHEZ PALOMAR, F. J., y RODRIGUEZ BERZOSA, P. (1992). «Metodología para el estudio de la evolución histórica de la línea de costa». *Ingeniería Civil*, núm. 87 (diciembre).

7. DE LA PEÑA OLIVAS, J. M., y SANCHEZ PALOMAR, F. J. (1990). «Comparación de datos visuales y registros de boyas del oleaje en el mar de alborán». *Ingeniería Civil*, núm. 77.

8. REY, J. J., y MEDIALDEA, T. (1989). «Los sedimentos cuaternarios superficiales del margen continental español». Publicaciones Especiales (INO-MAPA), Madrid.

9. PILARCZYK, K. W., y otros (1987). «Manual on artificial beach nourishment». Centre for Civil Engineering Research, Codes and Specifications (Rijkswaterstaal-Delft Hydraulics-Report 130), Delft.

10. RECOMENDACIONES PARA LAS OBRAS MARITIMAS (ROM O, 3-91). OLEAJE. Anejo I: «Clima marítimo en el litoral español». Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Madrid, 1992).



PERFORACIONES HORIZONTALES EN SUELOS DUROS Y DIFÍCILES.

PEC, SL perforaciones

PERFORACIONES Y EXCAVACIONES CASTELLANAS, S. L.

Calle Alejandro Morán, 55
28025 MADRID
Tel. 525 11 87
Fax 525 11 24

Mayor precisión en longitudes mayores de 20,00 metros. Por utilización de sistemas hidráulicos.

Pídanos presupuesto o estudio de viabilidad sin compromiso.

GRUPO IGASPE, S. A.





Adaptación a la playa de la zona de playa de la playa.



Obra de saneamiento en la zona de la playa.



La playa de Ondarreta también se verá beneficiada de esta gestión.

EN DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN TRABAJAMOS POR MEJORAR NUESTRO ENTORNO

Nuestro litoral precisa un proyecto de Saneamiento Integral que engloba el traslado de aguas residuales y la construcción de una Depuradora que hará de nuestra costa un entorno inigualable.

Este ambicioso proyecto -que ya ha dado comienzo- ha sido el resultado de un Convenio suscrito entre el Ministerio de Obras Públicas (MOPT) y el Ayuntamiento de Donostia-San Sebastián.

Las inmediatas actuaciones de saneamiento de las aguas residuales eliminando los vertidos en Tximistarri, y al río Urumea, así como la construcción de una Depuradora y un emisario submarino a partir del año 96, confirmarán la gran personalidad de nuestras Playas.

El Ayuntamiento de Donostia-San Sebastián reconoce que nuestro futuro depende de acciones similares.



Donostialko Udala
Ayuntamiento de San Sebastián



GRUPO
TERRATEST

Pilotes prefabricados.
HIPERCOR. Sevilla

TERRATEST, S.A.
I.CO.S, S.A.
CIMYSON, S.A.

Pilotes prefabricados e "in situ".
Micropilotes. Pantallas continuas.
Inyecciones. Anclajes. Bujones.
Hormigones tipo colcrete. Elementos
portantes. Gunitados. Sondos
geotécnicos y mineros. Hincas y
extracción de tablestacas. Vibroflotación.
Jet Grouting. Técnicas especiales.

OFICINAS CENTRALES
Alcala, 65 - 4º. 28014 Madrid
Teléf. 577 71 40 - 577 71 50
Telex: 22038 GROUT E
Telefax: 576 86 58