



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

**DISEÑO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE ARRECIFE  
ARTIFICIAL EN LA PLAYA NORTE DE PEÑÍSCOLA (CASTELLÓN)**

---

*Presentado por*

Herrero Rodríguez, Bárbara

---

*Para la obtención del*

Grado de Ingeniería Civil

*Curso: 2018/2019*

*Fecha: VALENCIA, JUNIO 2019*

*Tutor: M<sup>a</sup> JOSÉ PELUFO CARBONELL*



## ÍNDICE GENERAL

- DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS
  - ❖ MEMORIA
  - ❖ ANEJO Nº1. ENCUADRE GEOGRÁFICO Y DATOS PREVIOS
  - ❖ ANEJO Nº2. TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA Y DESLINDE
  - ❖ ANEJO Nº3. ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO
  - ❖ ANEJO Nº4. CLIMA MARÍTIMO
  - ❖ ANEJO Nº 5. DINÁMICA LITORAL
  - ❖ ANEJO Nº 6. ESTUDIO DE SOLUCIONES
  - ❖ ANEJO Nº7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS
  - ❖ ANEJO Nº8. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
  - ❖ ANEJO Nº9. BALIZAMIENTO
  - ❖ ANEJO Nº10. GESTIÓN DE RESIDUOS
  - ❖ ANEJO Nº11. PROGRAMA DE TRABAJO
  - ❖ ANEJO Nº12. VALORACIÓN ECONÓMICA Y JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS
  - ❖ ANEJO Nº13. VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES
  
- DOCUMENTO Nº2. PLANOS
  - ❖ PLANO Nº1. LOCALIZACIÓN
  - ❖ PLANO Nº2. SOLUCIÓN
  - ❖ PLANO Nº3. BLOQUE ARRECIFAL
  - ❖ PLANO Nº4. MÓDULO ARRECIFAL 1
  - ❖ PLANO Nº5. MÓDULO ARRECIFAL 2
  - ❖ PLANO Nº6. MÓDULO ARRECIFAL 3
  - ❖ PLANO Nº7. BALIZAMIENTO





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



## DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS

### **MEMORIA**

*Diseño y valoración económica de arrecife artificial en la playa Norte de Peñíscola (Castellón)*

*Grado de Ingeniería Civil, curso 2018/2019*

*Bárbara Herrero Rodríguez*





## ÍNDICE

1. LOCALIZACIÓN .....	3
1. ANTECEDENTES.....	3
2. OBJETO DE ESTUDIO .....	4
3. ESTUDIOS PREVIOS .....	4
3.1 TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA Y DESLINDE .....	4
3.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	5
3.3 CLIMA MARÍTIMO .....	5
3.3.1 INTRODUCCIÓN.....	5
3.3.2 OLEAJE.....	5
3.3.3 CORRIENTES .....	5
3.3.4 VIENTO .....	5
3.3.5 DINÁMICA LITORAL.....	6
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	6
5. DISEÑO Y CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	7
5.1 ALTURAS DE OLA.....	7
5.2 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LOS POLÍGONOS ARRECIFALES.....	8
5.3 DISEÑO DE LOS MÓDULOS ARRECIFALES .....	8
5.4 ESTABILIDAD DE LOS MÓDULOS.....	10
6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y PROGRAMA DE TRABAJOS.....	10
7. VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES .....	11
8. VALORACIÓN ECONÓMICA.....	12
9. CONCLUSIONES.....	13



## 1. LOCALIZACIÓN

La playa del Norte forma parte de la costa mediterránea, en el municipio de Peñíscola, al norte de la provincia de Castellón, más concretamente en la comarca del Bajo Maestrazgo.

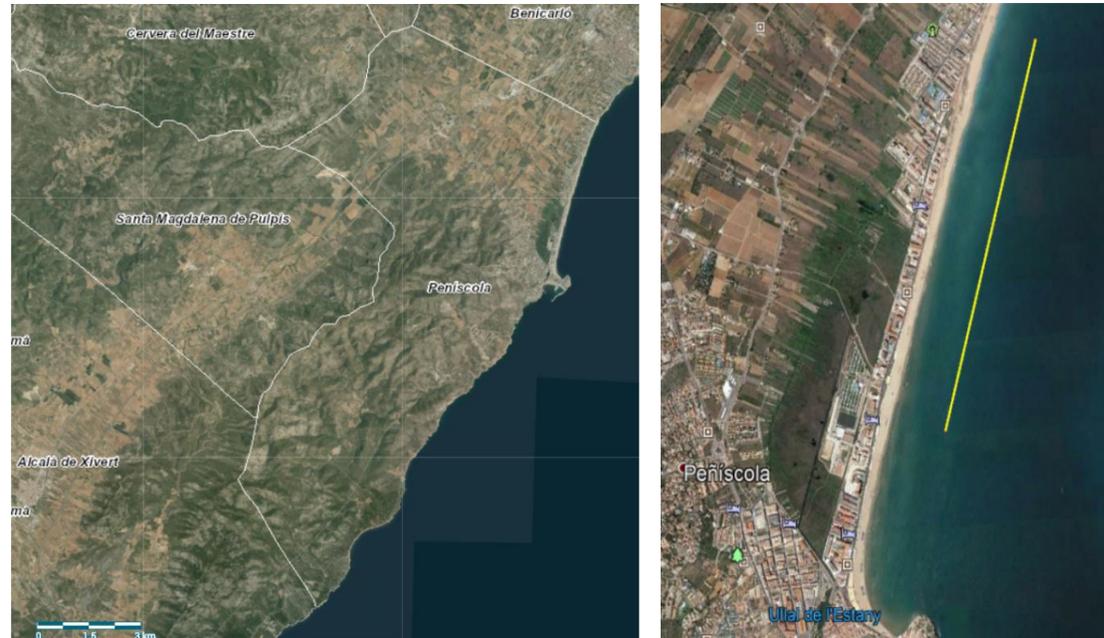


Figura 1 y 2. Mapa de Peñíscola y zona de actuación de las obras

## 1. ANTECEDENTES

la morfología de la costa norte de Peñíscola ha variado con el paso del tiempo, afectada por las mareas y el impacto del oleaje sobre esta además de la ocupación residencial, la gran afluencia de turistas durante 6 meses al año y la existencia de un vial de doble sentido junto al mar, que comunicaba las poblaciones de Peñíscola y Benicarló. Todo esto llevó a cabo a la regeneración del borde litoral y su conveniente mantenimiento desde el año 2003 hasta el día de hoy.

A continuación se puede observar cómo era el estado de la playa del norte años atrás y como ha variado su morfología hasta la actualidad.

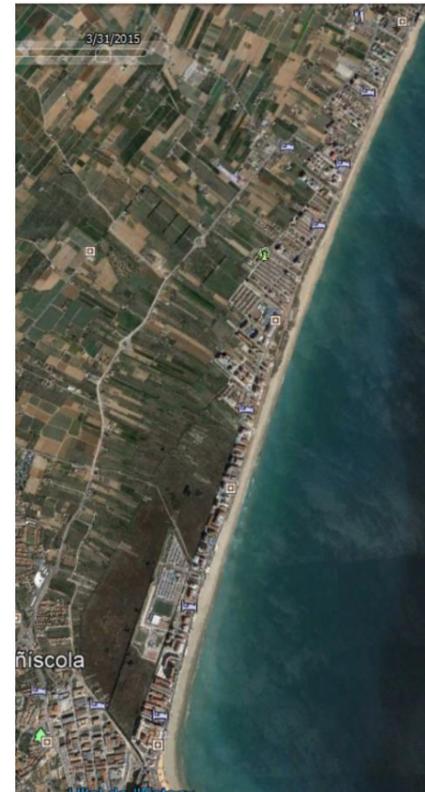


Figura 3. Playa del Norte en 2012



Figura 4. Playa del Norte en 2017

Además se ha recogido que la zona de Peñíscola es una de las más afectadas por la pesca de arrastre, teniendo uno de los mayores índices de la Comunidad Valenciana, lo que alarma a una eficaz regeneración del fondo marino puesto que esta técnica a pesar de estar controlada desgasta mucho el mismo así como arrambla con fauna y flora existente en los fondos.

DICIEMBRE 2015	Arrastre	Artes menores	Cerco	Palangre fondo	Palangre superficie	TOTAL
VINAROS	10	19	4			33
BENICARLÓ	19	12				31
PEÑÍSCOLA	24	17		3		44

Figura 5. Tabla representativa de los tipos de pesca practicados en la Comunidad Valenciana

## 2. OBJETO DE ESTUDIO

La finalidad de las actuaciones a realizar es la preservación de un tramo costero al norte del puerto de Peñíscola así como de la regeneración y protección del fondo marino de esta zona mediante la instalación de varios polígonos de arrecifes artificiales a lo largo de unos 1900 metros de la playa Norte de Peñíscola.

## 3. ESTUDIOS PREVIOS

Se han realizado diferentes anejos con los estudios previos necesarios para demostrar la viabilidad de la instalación de las obras así como sus características. Estos son:

- Topografía, batimetría y deslinde
- Estudio geotécnico
- Clima marítimo
- Dinámica litoral

### 3.1 TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA Y DESLINDE

Se ha llevado a cabo el estudio del estado del fondo marino sobre el que se quiere proyectar las obras, analizando así la topografía y batimetría del área para proporcionar una adecuada información sobre el relieve y las pendientes del fondo marino donde se quiere implantar la instalación del conjunto de elementos.

Se observa una batimetría uniforme de pendiente suave con fondo formado por arenas bien calibradas hasta los 10-12 metros de profundidad.

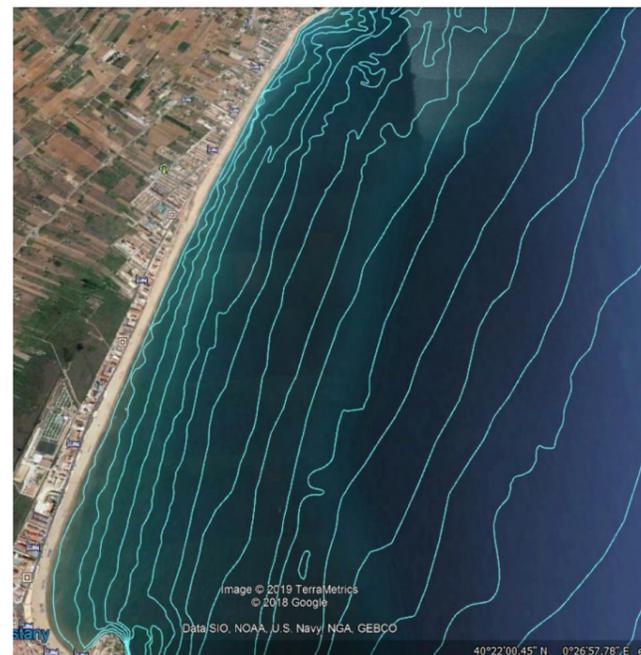


Figura 6. Mapa batimétrico de la Playa Norte de Peñíscola

En la playa norte de Peñíscola se puede observar dos tipos de líneas de deslinde, la verde representa un dominio público marítimo-terrestre oficialmente aprobado, mientras que la línea amarilla indica que está en tramitación de aprobación; además la línea rosa representa servidumbre de protección.

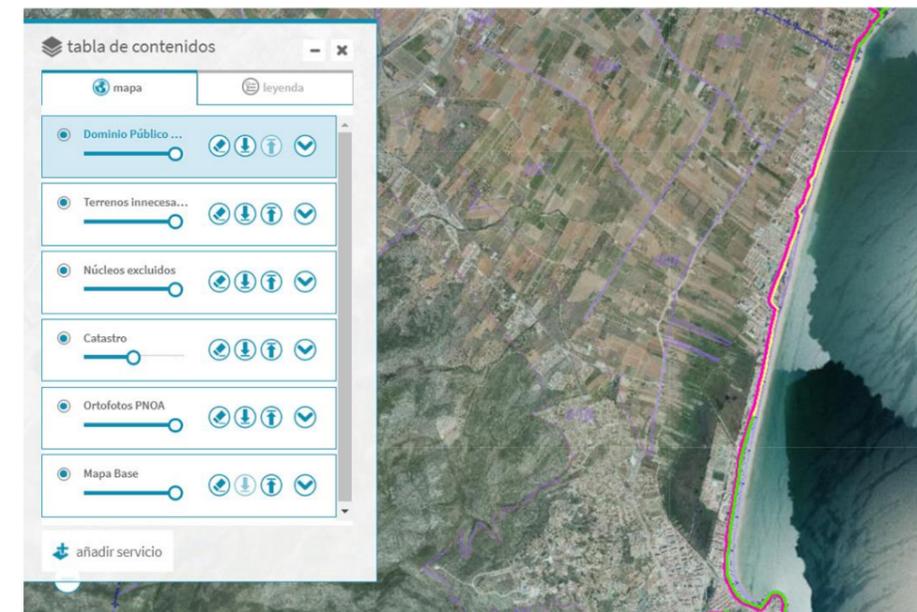


Figura 7. Deslinde en DPMT de la Playa Norte de Peñíscola

La siguiente imagen representa la ocupación del suelo de toda la costa norte de Peñíscola, siendo el color rojo el más abundante y que representa superficies urbanizadas; el color naranja más claro hace referencia a playas y dunas y el amarillo es suelo urbanizable sobre matorral y monte bajo.

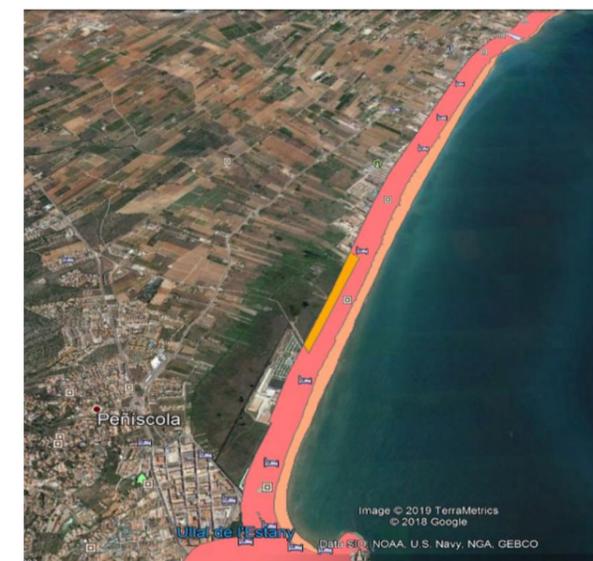


Figura 8. Usos del suelo de la Playa Norte de Peñíscola

### 3.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO

La zona de Peñíscola se encuadra, desde un punto de vista geológico, entre el flanco Norte del Gran Anticlinal de la Sierra de Valancha y el flanco Sur del Sinclinal de Traiguerra. En esta zona se evidencian varios procesos geológicos en las áreas carbonatadas de la Sierra de Irta y también morfologías de reciente formación sobre las áreas deprimidas de las sierras y de áreas litorales, donde destacan los sistemas geomorfológicos como costas bajas (playas) y el tómbolo de Peñíscola.

A continuación se muestra una ficha extraída del Instituto Geológico y Minero de España que hace referencia a la zona de actuación de las obras y de donde se puede extraer información muy válida y relevante para conocer los aspectos geológicos e hidrológicos más importantes de esta área.



Figura 9. Ficha informativa sobre la playa Norte de Peñíscola (IGME)

Se obtiene información geológica y geomorfológica como los materiales constitutivos de la playa que son arenas cuarzíferas con restos conchíferos, la morfología dice que son extensas playas de escasa pendiente con deriva litoral y que el tipo de suelo es arenoso al bic con balance morfoedáfico negativo.

En cuanto a la hidrología añade que el tipo de drenaje de la playa es infiltración directa y que la subcuenca que destaca en la zona es la del Júcar, subcuenca de Alcalá; de aguas superficiales destaca la rambla de Terme y de aguas subterráneas el acuífero Miopliocuaternalio.

### 3.3 CLIMA MARÍTIMO

Exponer primeramente que se puede recurrir a la información relevante a este estudio se encuentra en el Anejo nº4 "Clima marítimo".

#### 3.3.1 INTRODUCCIÓN

Se pretende tratar en profundidad los aspectos más característicos del régimen medio y extremal del oleaje en aguas profundas y ver así como afecta a la costa de la playa Norte de Peñíscola. Además también dará conocimiento de cómo son las condiciones marítimas en alta mar a la hora de realizar la instalación de la obra. Para esto se ha estudiado el oleaje, las corrientes y la influencia del viento.

#### 3.3.2 OLEAJE

Observando la rosa del oleaje comprendida entre los años 2012 y 2019, se puede concluir que el oleaje más incidente en la playa Norte de Peñíscola posee dos direcciones significativas que son E y S, siendo incidente también la dirección SE.

De la tabla se puede concluir que se tiene oleaje con máxima altura de ola significativa procedente de las direcciones E y S, como se había comentado anteriormente, con alturas de ola de 3.5m, aunque la mayoría no superen los 2m. Entonces las conclusiones que se obtienen tras el análisis realizado son que los oleajes más frecuentes en la playa Norte de Peñíscola son dirección E-NE, sobretodo en la estación de invierno. Respecto al tamaño de las olas se observa que abundan las de altura de ola (Hs) de 0.5m durante el 43.52% del año, seguidas de las olas de Hs de 1m durante el 23.19% del año, olas de Hs de 1.5m representan un 5.23% del año y el resto forma un 1.73% anual.

#### 3.3.3 CORRIENTES

Cabe comentar que los datos de las corrientes se han obtenido de la boya de Tarragona por ser la más próxima a la playa Norte de Peñíscola y por tanto estos datos son relativamente precisos.

De la rosa de corrientes comprendida entre los años 2011-2019, se obtiene que las corrientes más intensas reflejan que tienen una dirección S-SSW claramente definida, siendo las menos intensas, y por tanto menos significativas, las de dirección N.

#### 3.3.4 VIENTO

Observando el histograma de viento medio, predominan los vientos de velocidades entre 2.5 y 4 m/s durante el periodo de 2011 a 2019 y de la rosa de los vientos se concluye que los vientos con mayor velocidad media provienen de las direcciones NNW y NW superando los 8m/s, pero que los vientos con dirección SSW, aunque con velocidades medias menores, también son muy significativos. Decir también que las mínimas velocidades medias se dan en la dirección Oeste.

### 3.3.5 DINÁMICA LITORAL

Para el cálculo del transporte sólido paralelo a la costa se ha empleado el método CERC (Coastal Engineering Research Center), la cual fue presentada en el *Shore Protection Manual* en 1984. El modelo está basado en la idea de que la ola que se aproxima desde el océano genera transporte de sedimentos longitudinal.

La fórmula a emplear es la siguiente:

$$Q = 2,031 \cdot 10^6 \cdot f \cdot H_0^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \text{sen}(2 \cdot \alpha_0) \cdot K_0 \cdot K_f$$

Donde:

- **Q**: caudal en m<sup>3</sup>/año
- **f**: probabilidad de presentación de la altura de ola
- **H<sub>0</sub>**: altura de ola significativa en profundidades indefinidas, en metros. La R.O.M considera HS (altura de ola significativa) = HV (altura de ola visual), relación que proporciona buenos resultados en el litoral español
- **α<sub>0</sub>**: ángulo de incidencia del oleaje en profundidades indefinidas, medido respecto a la normal a la línea de costa, en grados sexagesimales
- **K<sub>0</sub>**: factor de probabilidad de presentación de una determinada dirección de oleaje
- **K<sub>f</sub>**: factor que representa la relación entre la amplitud del sector real que genera el transporte sólido en un sentido y la del sector teórico de partida

Para la obtención de los datos se ha recurrido al ROM 0.3-91 y con esta información se determina la capacidad de transporte para cada dirección, siendo de signo positivo o negativo según el sentido de transporte (N-S, S-N) en el sector analizado.

Un proyecto de la universidad politécnica de Madrid "Rehabilitación y regeneración de la playa del Gurugú en Benicarló" realizó un estudio sobre el transporte sólido litoral que se produce en la zona de las actuaciones basándose en la fórmula del CERC.

Con lo cual el transporte bruto será el total y el transporte neto se obtiene restando a los sedimentos que son desplazados hacia el sur, los que se desplazan hacia el norte, con lo cual se queda:

Transporte bruto	683006,79 m <sup>3</sup> /año
Transporte neto	251463,021 m <sup>3</sup> /año

Tabla 1. Transporte bruto y neto

## 4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

La localidad de Peñíscola destaca por su abundante riqueza pesquera, la gran afluencia de turismo tanto marítimo como terrestre, sus playas, etc. Por todo ello y por la gran urbanización que sufre la costa de Peñíscola, sus fondos marinos y la misma playa se están viendo gravemente afectados perdiendo su capacidad de regeneración e impidiendo la deriva litoral de sedimentos.

El problema que se presenta y sobre el que se quiere tratar es la regeneración de los fondos marinos mediante creación de nuevos ecosistemas para así no perder la flota pesquera y el turismo de actividades subacuáticas de la que presume Peñíscola y evitar la posible pesca furtiva que destroza el medio marino, pero también, frenar la velocidad de impacto del oleaje en la playa Norte evitando así que continúe su erosión desmesurada.

Este apartado, es un resumen del Anejo 6. "Estudio de soluciones", por lo tanto, para ver al detalle el desarrollo del estudio de soluciones, es muy recomendable acudir a dicho anejo.

Se ha llevado a cabo la valoración de las alternativas viables mediante el análisis multicriterio, ponderando cada alternativa según el valor que se le dé a cada parámetro, entre los cuales habrá criterio subjetivo y objetivo. De esta forma las alternativas elegidas y sus respectivas valoraciones son las siguientes:

### ➤ **Alternativa 1: Diques exentos**

Estas actuaciones consistirían en implantar una serie de diques exentos sumergidos con una distribución paralela a la línea de costa.

ALTERNATIVA 1: DIQUES EXENTOS						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	111
Puntuación	3	7	4	3	9	

Tabla 2. Evaluación de la alternativa 1

### ➤ **Alternativa 2: Regeneración artificial de la playa**

Este procedimiento trata sobre la regeneración de la costa y del cordón dunar mediante el aporte y dragado de sedimentos, lo cual no se trata de una obra con vistas a largo plazo puesto que tiene que ser periódicas dichas actuaciones.

ALTERNATIVA 2: REGENERACIÓN ARTIFICIAL DE LA PLAYA						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	128
Puntuación	2	5	6	8	9	

Tabla 3. Evaluación de la alternativa 2

➤ **Alternativa 3. Arrecife artificial**

Esta alternativa plantea la colocación de módulos de hormigón a modo de arrecife artificial con la intención de introducir en el medio marino una diversificación de ecosistemas, creando áreas o zonas de repoblación marina natural y además provoca una disminución de la energía del oleaje de modo que se disminuye la erosión de la playa Norte de Peñíscola. Se busca también un interés turístico fomentando las actividades subacuáticas como el buceo o la pesca submarina.

ALTERNATIVA 3: ARRECIFE ARTIFICIAL						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	196
Puntuación	10	8	6	9	9	

Tabla 4. Evaluación de la alternativa 3

➤ **Alternativa 4. Algas artificiales**

Esta metodología consiste en la colocación sobre el lecho marino, a cierta distancia de la costa, una serie de tubos de nylon que lleven filamentos o "algas artificiales", colocadas perpendicularmente a la dirección de la corriente. Debido a que su uso no es muy común no se tiene suficientes datos sobre su implantación y efectividad.

ALTERNATIVA 4: ALGAS ARTIFICIALES						
Criterio	Funcional	Sostenible	Económico	Medioambiental	Estético	TOTAL
Peso	6	5	4	5	3	131
Puntuación	5	6	3	7	7	

Tabla 5. Evaluación de la alternativa 4

➤ **SELECCIÓN ALTERNATIVA FINAL**

Si se comparan los resultados de las evaluaciones de cada alternativa se obtiene que la más adecuada es la "alternativa 3: arrecifes artificiales" que, como se muestra en la siguiente tabla, recibe la mayor puntuación.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Puntuación	111	128	196	131

Tabla 6. Resumen de los resultados

Con lo demostrado anteriormente se procede a desarrollar la alternativa de la implantación de arrecife artificial en la playa Norte de Peñíscola.

## 5. DISEÑO Y CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Este apartado hace referencia al Anejo 7. "Cálculos justificativos" donde se puede acudir en caso de precisar el desarrollo completo de la obtención de los cálculos.

### 5.1 ALTURAS DE OLA

Los módulos arrecifales estarán sometidos principalmente a la acción del oleaje y de las corrientes, por eso uno de los objetivos de este apartado es realizar la determinación de la altura de ola de cálculo para el dimensionamiento de los bloques de arrecifes artificiales.

Se calcula la altura de ola en condiciones de rotura ( $H_b$ ) para determinar la altura que tendrán los bloques de hormigón que harán la función de arrecife artificial y se establece la siguiente relación:

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.8$$

Donde:

- $H_b$ : altura de ola en condiciones de rotura.
- $d_b$ : profundidad de cálculo al pie de los módulos, obtenida como suma de la profundidad real de éstas ( $d_s$ ) y la sobreelevación recomendada por la ROM 02.90

Para el ajuste de esta relación se emplea las curvas de Weggel, recomendadas por el Shore Protection Manual y para realizar este ajuste es necesario saber el periodo del oleaje ( $T$ ), que en este caso oscila entre los 12 y los 15 segundos y se conoce, a través de la batimetría de la playa Norte de Peñíscola, que posee una pendiente entre el 2%-3%, que es la típica de las costas valencianas.

Y como anteriormente se ha comentado, la altura de ola en rotura sigue la relación de  $H_b/d_b = 0.8$  por lo que para la profundidad del arrecife artificial escogida de **4.25 metros** más la sobreelevación del nivel del mar de +1 y despejando de la relación mencionada, se queda:

$$H_b = 0.80 \cdot (4.25 + 1) = 4.20 \text{ m}$$

Tomando este valor como altura de ola en condiciones de rotura ( $H_b$ ) y se asume que cualquier ola con una altura superior a esta romperá antes de alcanzar la obras proyectadas.

Como  $H_b < H_{1/10}$  significa que las obras se encuentran en aguas someras, es decir, en profundidades reducidas y condiciones de rotura por el fondo, entonces se asume que la altura de ola de cálculo ( $H_{cal}$ ) será igual a la altura de ola en condiciones de rotura ( $H_b$ ):  **$H_{cal} = H_b = 4.20 \text{ m}$**

## 5.2 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LOS POLÍGONOS ARRECIFALES

La elección del emplazamiento y distribución de los módulos arrecifales dependerán de varios parámetros a tener en cuenta, los cuales son:

➤ Proximidad a la costa y profundidad

Se ha establecido la instalación de los bloques de arrecife artificial a una distancia de la costa de 280 metros, donde se encuentra la línea batimétrica -4, que es el calado al que se ha determinado que se fondeen todos los módulos.

➤ Orientación respecto a la costa

Como se considera a la playa Norte de Peñíscola como una playa bastante abierta, se considera que la orientación de la zona arrecifal a proyectar sea sensiblemente paralela a la línea de costa.

➤ Número, longitud y separación entre polígonos arrecifales

De los 4500 metros que alberga la playa Norte de Peñíscola se han decidido destinar a las obras a proyectar un total de 1900 metros. Por lo que se escoge una longitud de los polígonos arrecifales de aproximadamente 150 metros con una separación de 200 metros entre cada uno de ellos para que no interfieran en la navegación de embarcaciones recreativas y haya una buena fluencia del agua entre las obras y la costa.

Entonces se instalarán un total de **6 polígonos arrecifales** de unos **150 metros** de longitud cada uno aproximadamente, que cumple con la recomendación de la SPM (150m < 80m), y separados cada **200 metros**.

## 5.3 DISEÑO DE LOS MÓDULOS ARRECIFALES

Se ha decidido proyectar, en este caso, unos polígonos arrecifales formados por estructuras de reproducción (estructuras alveolares) pasándose a llamar "**Núcleo Alveolar**" para el agrupamiento de varios módulos arrecifales de producción y para el diseño y cálculo de estos se tienen en cuenta varios aspectos importantes como los materiales a emplear, el puntal y la forma de las estructuras.

➤ Materiales

Se determina que el mejor material para la realización de los módulos arrecifales es el hormigón de alta resistencia. Este cumple con los criterios de durabilidad, baja permeabilidad y flexibilidad que se le exigen; es compatible con el medio, y es de fácil obtención y colocación y cuya dosificación será:

- 350 kg de cemento tipo CEM I-42.5 SR
- 175 kg de agua
- 975 kg de árido 0/40
- 400 kg de árido 4/12
- 600 kg de árido 12/20
- 60 kg de fibras de acero de 60/30
- 3.5 kg de aditivo superplastificante

➤ Diseño y forma de los módulos

Para el diseño de los tipos de módulos arrecifales que se van a instalar en la playa Norte de Peñíscola, se ha escogido que sean de tipo alveolar para fomentar la producción de organismos y así regenerar el fondo marino de la zona. También se ha tenido en cuenta que sean formas sencillas para no alterar la percepción visual submarina y que cada módulo contenga orificios de diferentes tamaños para albergar diferentes especies y que el ecosistema formado sea más diverso.

Así pues se han diseñado 3 tipos de módulos arrecifales con distinta forma y tamaño, que se muestran a continuación.

➤ Módulos

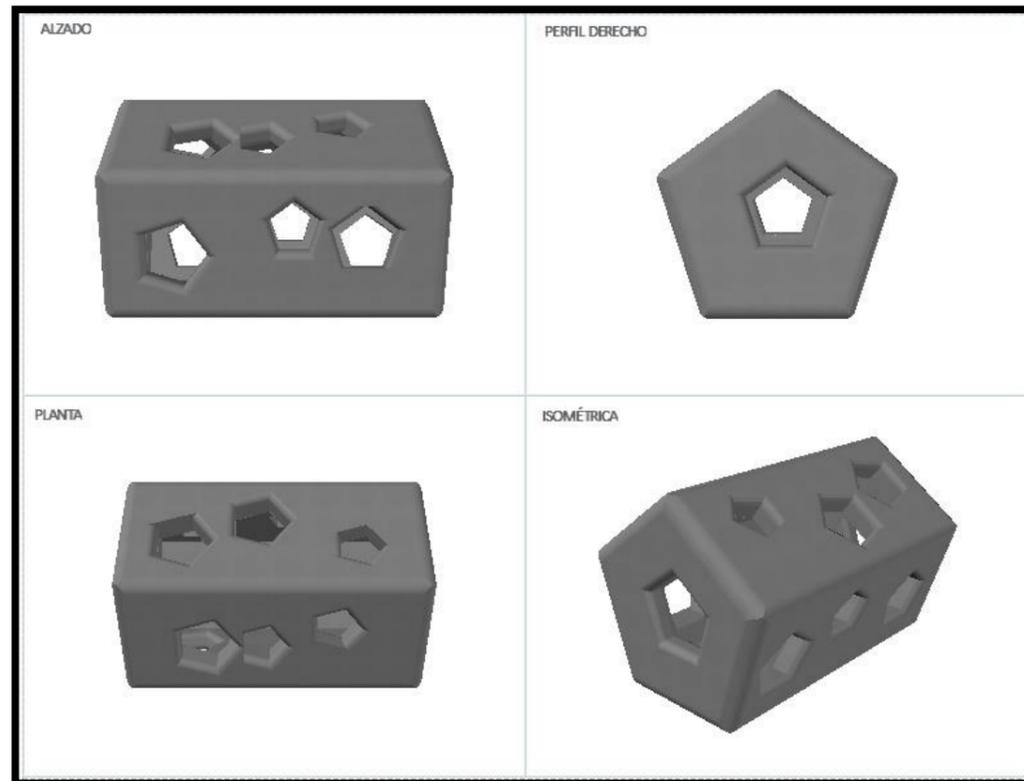


Figura 10.  
Módulo  
arrecifal 1

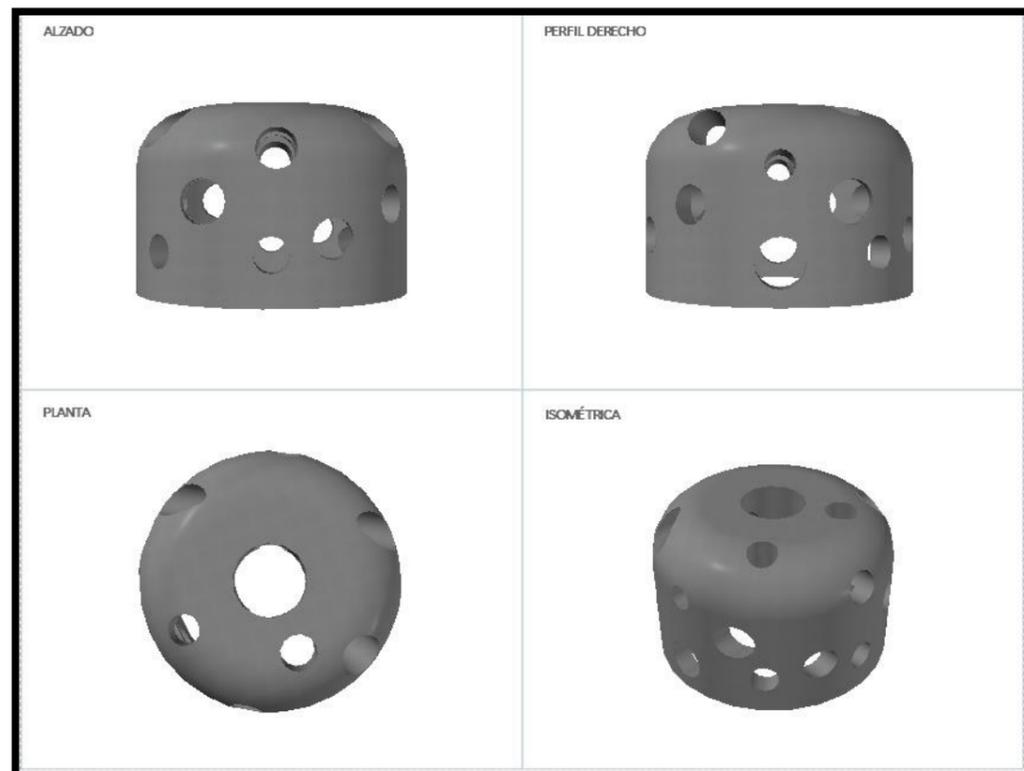


Figura 11.  
Módulo  
arrecifal 2

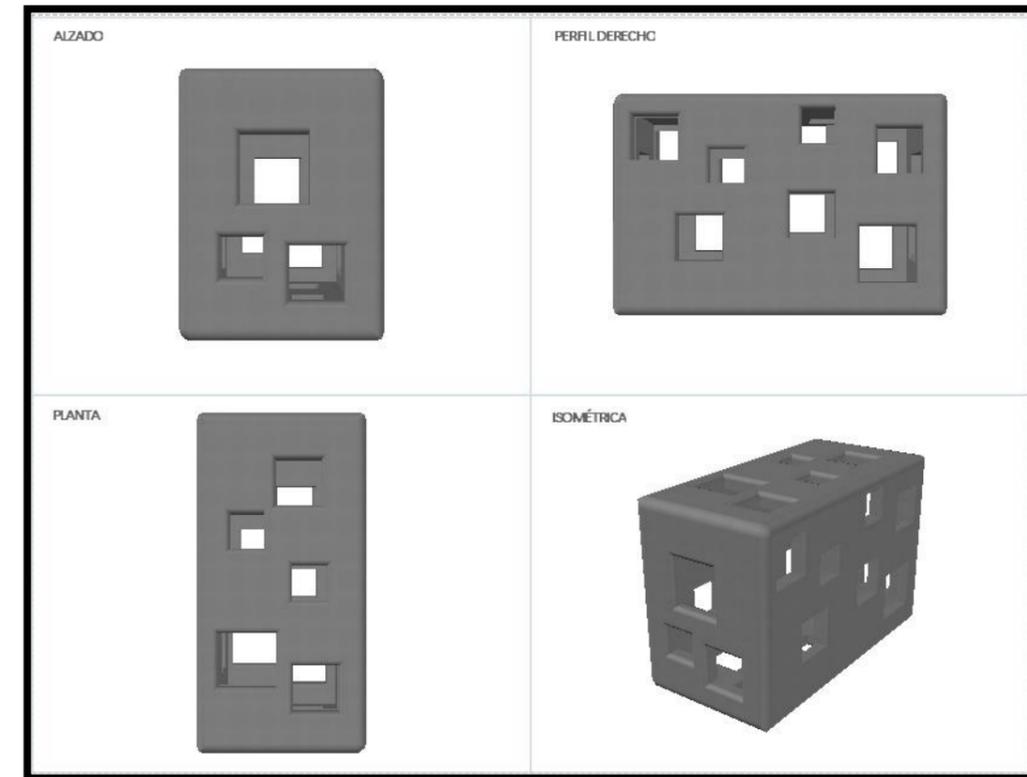


Figura 12. Módulo arrecifal 3

#### 5.4 ESTABILIDAD DE LOS MÓDULOS

Es necesario comprobar la estabilidad de los distintos módulos frente a las acciones que puedan sufrir durante su fase de servicio para, de esta forma, verificar que su funcionamiento y colocación son los adecuados y evitar que se produzcan volcamientos, desplazamientos o roturas de los módulos sumergidos y para no tener que cambiar las características geométricas de estos.

Haciendo uso de la formulación de Djounkovski i Bojitch (1959): Estabilidad frente al oleaje y las corrientes y Morison (1950): Estabilidad frente al vuelco y al deslizamiento se obtienen los siguientes resultados.

##### ➤ Estabilidad frente al oleaje y corrientes

ESTABILIDAD FRENTE AL OLAJE Y CORRIENTES									
MÓDULO	G	f	$\alpha$	w	h	L	z	S	ESTABLE
1	1584.85	0.79	0	1035	2.1	160	4.25	11.82	SÍ
2	1650.32	0.79	0	1035	2.1	160	4.25	12.31	SÍ
3	1494.03	0.79	0	1035	2.1	160	4.25	11.14	SÍ

Tabla 7. Estabilidad frente al oleaje y corrientes

##### ➤ Estabilidad frente a deslizamiento

ESTABILIDAD FRENTE AL DESLIZAMIENTO				
MÓDULO	F (N)	F <sub>R</sub> (N)	¿F <sub>R</sub> >F?	COMPROBACIÓN
1	7360.23	22151.51	SÍ	NO DESLIZAMIENTO
2	30701.01	86446.88	SÍ	NO DESLIZAMIENTO
3	17427.74	51644.6	SÍ	NO DESLIZAMIENTO

Tabla 8. Estabilidad frente al deslizamiento

MÓDULO	1	2	3
F <sub>D</sub> (N)	1933.52	7964.96	4328.78
F <sub>I</sub> (N)	5426.71	22736.05	13098.96
F (N)	7360.23	30701.01	17427.74

Tabla 9. Cálculo de F (N)

MÓDULO	1	2	3
F <sub>PP</sub> (N)	29000	121500	70000
F <sub>A</sub> (N)	5647.89	30023.02	15457.4
F <sub>f</sub> (N)	1200.6	5030.1	2898
F <sub>R</sub> (N)	22151.51	86446.88	51644.6

Tabla 10. Cálculo de F<sub>R</sub> (N)

##### ➤ Estabilidad frente al vuelco

ESTABILIDAD FRENTE AL VUELCO						
MÓDULO	F (N)	d (m)	N (N)	e (m)	¿F·d<N·e?	COMPROBACIÓN
1	7360.23	1.5	22151.51	1.5	SÍ	NO VUELCA
2	30701.01	1.5	86446.88	1.5	SÍ	NO VUELCA
3	17427.74	1.5	51644.6	1.5	SÍ	NO VUELCA

Tabla 11. Estabilidad frente al vuelco

Con lo cual se comprueba el cumplimiento de la estabilidad frente a las acciones durante la vida útil de todos los módulos diseñados.

## 6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y PROGRAMA DE TRABAJOS

El proceso constructivo se divide en varias fases:

- Replanteo y actuaciones previas
- Fabricación de los módulos
- Transporte y fondeo
- Balizamiento de los polígonos arrecifales

Se realiza el estudio para conocer la posición exacta de los polígonos arrecifales con las siguientes bases de replanteo:

- Replanteo 1. PA1: 40°22'10.48"N; Longitud 0°24'27.11"E (Bloque arrecifal PA1 sur)
- Replanteo 2. PA1: 40°22'13.79"N; Longitud 0°24'30.25"E (Bloque arrecifal PA1 norte)
- Replanteo 3. PA6: 40°23'10.50"N; Longitud 0°24'47.12"E (Bloque arrecifal PA6 norte)
- Replanteo 4. PA6: 40°23'11.46"N; Longitud 0°24'46.13"E (Bloque arrecifal PA6 sur)

Para estas actuaciones junto con otros estudios previos se estima una duración de **2 semanas**.

En cuanto a la fabricación de los módulos se ha decidido que su producción sea en una fábrica de prefabricados cercana a la zona (Prefabricados de hormigón HERMO S.L) donde se realizarán los encofrados de los distintos módulos, se efectuará la construcción de los elementos de hormigón. Se construirán todos y se almacenarán en la central hasta que estén en posibilidad de ser transportados todos ellos al puerto de embarque.

Para estas operaciones se precisa de **24 semanas** de trabajo en total.

Una vez fabricados los módulos y acopiados en la empresa se procede a su transporte por carretera hasta el puerto de Benicarló, mediante camiones góndola (con remolque abierto). Una vez llegados los módulos a puerto son transportados mediante carretilla elevadora hasta el borde del muelle para facilitar el posterior traslado marítimo.

Así pues el transporte marítimo se efectuará mediante un gánguil autopropulsado con grúa y que contará con un puntal de construcción de 3 metros, además contará con bodegas de carga corridas que permitirán una mejor disposición de los módulos arrecifales, así como la barrida en planta y elevación-descenso desde la grúa.

Para la instalación se ha escogido el método de descenso con cable y guiado por buceadores, que irán colocando los módulos según lleguen a la zona de instalación con las referencias del replanteo previas.

El conjunto de estas operaciones durará **16 semanas** siempre y cuando no haya que paralizar el proceso por altura de ola >1 m o corrientes y oleajes fuertes, que retrasarían la duración de la instalación y fondeo de las obras.

Cuando se hayan colocado todos los polígonos arrecifales se colocará en **una semana** aproximadamente, las 3 marcas de balizamiento para definir las zonas navegables; se puede apreciar la posición de las balizas luminosas en el "Plano 7. Balizamiento".

Por último, tanto la Gestión de Residuos como la Seguridad y Salud laboral se tienen en cuenta a lo largo de la duración de las obras.

➤ Programa de trabajos

PROGRAMA DE ACTIVIDADES	
ACTIVIDAD	DURACIÓN (semanas)
Replanteo y actuaciones previas	2 semanas
Fabricación de los módulos	24 semanas
Transporte y fondeo	16 semanas
Balizamiento de los polígonos arrecifales	1 semana
Gestión de residuos	43 semanas
Seguridad y Salud	43 semanas

Tabla 12. Programa de actividades

➤ Diagrama de Gantt

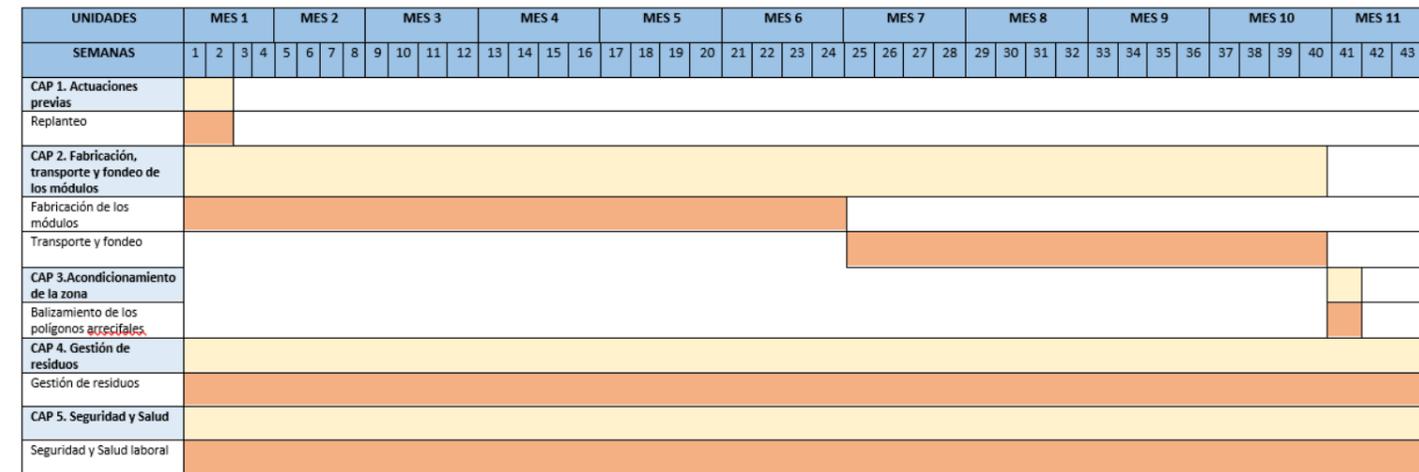


Figura 13. Diagrama de Gantt

## 7. VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

A continuación se muestra la matriz de valoración de impactos ambientales en la que se puede apreciar los impactos más influyentes de las obras de instalación de arrecife artificial en la playa Norte de Peñíscola.

		MATRIZ DE VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES										
		Impacto físico-natural				Impacto perceptivo		Impacto socio-económico				
		Calidad del agua	Morfología costera	Morfología submarina	Calidad sedimentaria	Cambio visual del paisaje	Aumento de niveles sonoros y vibraciones	Empleo	Espacios recreativos	Actividad pesquera	Turismo	Navegación
FASE DE CONSTRUCCIÓN	Transporte de los módulos	N					S	P		S	S	S
	Fondeo	N		N	S		S	P		S	S	S
	Instalación					S					S	
FASE DE SERVICIO	Biodiversidad		N	P	N			P	P	P		
	Funcionalidad del arrecife artificial		N	P	N			P	P	N	P	
	Presencia del arrecife artificial					P	S		P	S	P	S

N	Impacto nulo o poco significativo. Puede llegar a manifestarse, pero su incidencia se verá asumida inmediatamente por el entorno de forma natural
S	Impacto significativo. Se manifiesta de forma relevante en el entorno de instalación del arrecife artificial. Suelen ser asumidos de forma natural a medio-largo plazo o a corto plazo si se utilizan acciones correctoras. Serán por tanto, objeto de estudio y/o seguimiento

P	Impacto positivo. Favorecen el entorno receptor del arrecife, mejorando las condiciones naturales. No será objeto de estudio y/o seguimiento específico a no ser que las mejoras comentadas coincidan con el fin de la instalación del arrecife artificial
C	Impacto no asumible. Se manifiesta de forma irreversible y continua sobre el medio receptor del arrecife artificial

A fin de minimizar los posibles impactos más dañinos en el medio se proponen una serie de medidas:

- Control de vertidos tóxicos al agua
- Los viales y estructuras provisionales de acceso a la las obras, utilizados por los camiones y el resto de maquinaria, se regarán en periodos secos prolongados y siempre que por las condiciones de trabajo se considere necesario, al objeto de evitar el levantamiento de polvo
- Evitar o reducir los ruidos específicos, tales como los de los motores sin silenciador. Se aconseja el empleo de silenciadores reactivos
- Evitar realizar trabajos en periodos críticos de migración, anidación y/o cría
- Control exhaustivo en la instalación de los módulos, evitando alterar en la medida posible el fondo marino
- Respetar los horarios de trabajo para evitar las quejas vecinales

## 8. VALORACIÓN ECONÓMICA

Se han recogido las actividades planeadas realizar en capítulos para así poder valorar cada uno individualmente:

### CAP 1. ACTUACIONES PREVIAS

- ❖ Replanteo como partida alzada de replanteo de las obras en planta, con la ayuda de GPS, incluyendo los trabajos necesarios para el replanteo arrecife artificial

### CAP 2. FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y FONDEO DE LOS MÓDULOS

- ❖ Fabricación de los módulos
  - Módulo 1 de hormigón para arrecife artificial incluso fabricación y preparación para ser recogido
  - Módulo 2 de hormigón para arrecife artificial incluso fabricación y preparación para ser recogido
  - Módulo 3 de hormigón para arrecife artificial incluso fabricación y preparación para ser recogido
- ❖ Transporte y fondeo
  - Transporte desde central a zona de acopio de los módulos mediante camión tipo góndola extensible especializada (18 x 4 x 3.5 m) de 40 Tn/línea axial
  - Carga sobre gánguil autopulsado con grúa 20 Tn mediante carretilla elevadora y transporte hasta pontona de los módulos mediante gánguil autopulsado con grúa 20 Tn
  - Traspaso de los módulos desde gánguil autopulsado con grúa 20 Tn a pontona tipo Jack-up equipada con grúa 100 Tn y carretilla elevadora 20 Tn, incluso fondeo desde pontona mediante cable y guiado con equipo de buzos y sistema diferencial de navegación
  - Seguimiento de los arrecifes artificiales a través de sondeo mediante SBL e inmersión por buzos

### CAP 3. ACONDICIONAMIENTO DE LA ZONA

- Balizamiento de los polígonos mediante boya BCP 1015 incluso instalación y funcionamiento
- Equipo luminoso destellante para señalización marca cardinal Este accionado por generador solar

### CAP 4. GESTIÓN DE RESIDUOS

- Limpieza y seguimiento de los residuos generados por las obras

### CAP 5. SEGURIDAD Y SALUD

- Seguimiento del cumplimiento de la normativa de seguridad y salud en obra

Y el resumen de todos los capítulos junto al precio final obtenido se resume en la siguiente tabla.

RESUMEN VALORACIÓN ECONÓMICA	
CAPÍTULO	TOTAL CAPÍTULO (€)
CAP 1. ACTUACIONES PREVIAS	5414,4 €
CAP 2. FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y FONDEO DE LOS MÓDULOS	6682293,23 €
CAP 3. ACONDICIONAMIENTO DE LA ZONA	1268,32 €
CAP 4. GESTIÓN DE RESIDUOS	63631,72 €
CAP 5. SEGURIDAD Y SALUD	95447,58 €

Tabla 13. Resumen valoración económica

**Valoración económica total sin BI, GG e IVA ..... 6848055,25 €**

El precio de ejecución material asciende a la cantidad de **SEIS MILLONES OCHOCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL CINCUENTA Y CINCO EUROS CON VENTICINCO CÉNTIMOS**.

## 9. CONCLUSIONES

Bajo el punto de vista de la autora se ha buscado la funcionalidad, sostenibilidad y productividad de las obras proyectadas con el fin principal de la regeneración del fondo marino, entendiendo el diseño y ubicación de los arrecifes artificiales como aspectos fundamentales.

De este modo queda concluida la memoria que junto a los anejos y planos realizados constituye en su totalidad el trabajo final de grado "DISEÑO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE ARRECIFE ARTIFICIAL EN LA PLAYA NORTE DE PEÑÍSCOLA (CASTELLÓN)".

Valencia, Junio de 2019

Autora: Bárbara Herrero Rodríguez

