



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYOSA (ALICANTE)

TRABAJO FIN DE GRADO

---

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

AUTOR: Ricardo Martínez Cereijo  
TUTOR: Jorge Molines Llodrá



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYOSA (ALICANTE)**



# ÍNDICE

---

## **DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA**

ANEJO 1: CAMBIO CLIMÁTICO.

ANEJO 2: ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO  
DEL PUERTO DE VILLJOYOSA.

ANEJO 3: CLIMA MARÍTIMO.

ANEJO 4: AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL  
CLIMA MARÍTIMO.

ANEJO 5: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA  
ADAPTACIÓN DE LAS OBRAS DE ABRIGO.

ANEJO 6: VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS  
SOLUCIONES.

ANEJO 7: ESTUDIO FOTOGRÁFICO.

ANEJO: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

## **DOCUMENTO Nº 2: PLANOS**



---

# *DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA*

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE DE LA MEMORIA

---

1.- INTRODUCCIÓN .....	7
2.- OBJETO Y ESTUDIO .....	7
3.- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	8
4.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO .....	9
4.1.- Usos del puerto .....	9
4.2.- Batimetría .....	10
5.- CAMBIO CLIMÁTICO .....	11
6.- ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA.....	13
6.1.- Actuaciones y antecedentes .....	13
6.2.- Criterios de diseño .....	14
6.3.- Modos de fallo .....	16
7.- CLIMA MARÍTIMO ACTUAL .....	17
7.1.- Introducción .....	17
7.2.- Nivel del mar .....	17
7.3.- Viento .....	18
7.4.- Oleaje .....	18
7.5.- Corrientes.....	19
8.- AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CLIMA MARÍTIMO...	20
9.- ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS OBRAS DE ABRIGO .....	21
10.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	23
11.- VALORACIÓN ECONÓMICA.....	25
11.- CONCLUSIÓN .....	27
12.- BIBLIOGRAFÍA .....	27

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este trabajo fin de grado se va a realizar un estudio de los posibles modos de rotura de las obras de abrigo del puerto de la Villajoyosa, así como la afección de la subida del nivel del mar. Se analizará como el cambio climático puede actuar sobre el dique y contradique del puerto.

Para realizar el presente estudio, se analizará la dinámica litoral, el clima marítimo de la zona, la batimetría y los posibles cambios que puede generar el cambio climático en el mar Mediterráneo.

Se estudiará una adaptación para las obras de abrigo que permita proteger a este puerto de las subidas de nivel del mar y niveles de ola en los próximos años.

Para escoger la mejor solución se incluirá una valoración económica de las distintas propuestas.

## 2.- OBJETO Y ESTUDIO

El objeto de este Trabajo Fin de Grado, que tiene por título: “Estudio para la adaptación al cambio climático de las obras de abrigo del puerto de la Villajoyosa” es el de analizar las obras de abrigo del puerto de la Villajoyosa ante la posible afección que puede tener el cambio climático sobre ellas.

En este trabajo se van a estudiar las posibles adaptaciones y remodelaciones que pueden llevarse a cabo en las obras de abrigo del puerto de la Villajoyosa con el fin de asegurar la protección del interior del puerto ante variaciones en el clima marítimo provocados por el cambio climático. Se considerarán escenarios de cambio climático para el nivel del mar, la dirección del oleaje y para las alturas de ola.

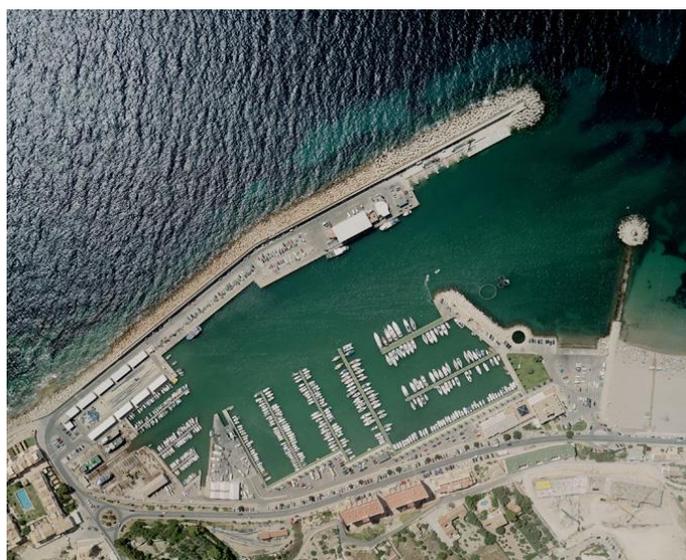


Imagen 1. Vista aérea del puerto de la Villajoyosa (Fuente: Consellería)

A pesar de ser una adaptación al cambio climático de las obras de abrigo, en este trabajo no se estudiará la influencia del cambio climático en la operatividad portuaria y en las obras de atraque.

### 3.- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Las obras de abrigo que se van a analizar en este trabajo se encuentran en el puerto de la Villajoyosa dentro del término municipal de la Villajoyosa, en la provincia de Alicante. Se trata de la capital comarcal de la Marina Baja.

Los puntos geográficos en los que se sitúa el puerto de la Villajoyosa son los mostrados:

- Latitud: 38° 30' 30" N
- Longitud: 0° 14' 00" W

El puerto de la Villajoyosa se encuentra por lo tanto al sur del municipio de Benidorm.



Imagen 2. Ubicación de la Comunidad Valenciana en la Península Ibérica. (Fuente: Wikipedia)



Imagen 3. Ubicación de la Marina Baja. (Fuente: Consejería de Agricultura)

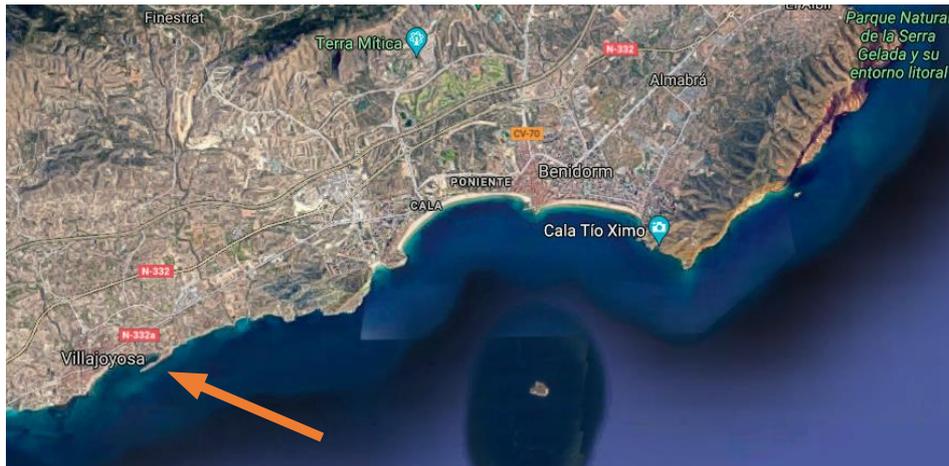


Imagen 4. Localización del puerto de la Villajoyosa. (Fuente: Google Maps)



Imagen 5. Ubicación del puerto en el plano del municipio. (Fuente: Google Earth)

## 4.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO

### 4.1.- Usos del puerto

En sus orígenes el puerto de la Villajoyosa se entendía únicamente como puerto pesquero, sin embargo, a partir de la construcción de nuevos pantalanes, la ampliación del dique de Levante y el contradique, los usos del puerto se modificaron y ampliaron. El puerto actualmente es considerado de tipo recreativo y pesquero.

Al abrigo del dique de Levante se encuentra el muelle pesquero, con unos 350 metros lineales que permiten realizar con comodidad las operaciones de carga y descarga de los barcos abarloados al muelle.

En cuanto a la parte recreativa, el puerto de la Villajoyosa cuenta con 600 puntos de amarre distribuidos por 10 muelles. La totalidad de los puntos son del tipo amarre a muerto. De los 600 puntos de amarre que posee el puerto de la Villajoyosa, 330 son amarres deportivos en concesión y los 270 restantes son de gestión directa.

## 4.2.- Batimetría

Los calados en el interior de la dársena del puerto de Villajoyosa varían desde los 6 metros hasta el metro de profundidad, con un calado en la bocana de 6,3 metros.

Con relación al muelle pesquero, el calado máximo es de aproximadamente 5 metros.

Los muelles recreativos tienen un calado máximo de 3 metros en los de tipo gestión directa, mientras que los amarres en concesión admiten un calado máximo de 4,5 metros.

Los datos de batimetría se han obtenido mediante la aplicación de Navionics y el mapa del puerto facilitado por la Consejería de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad.

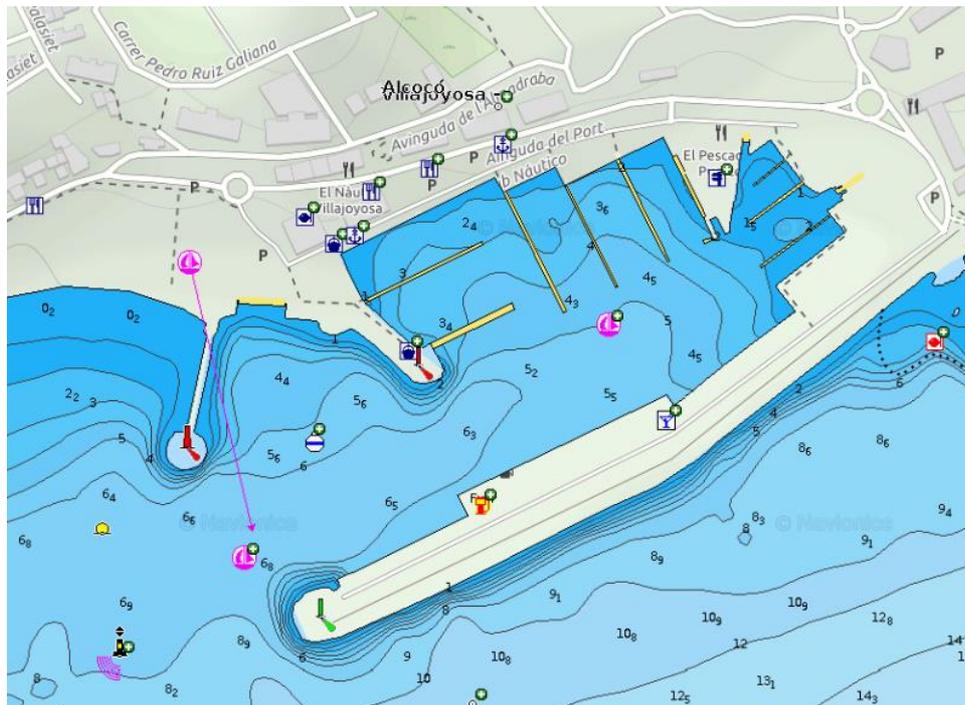


Imagen 6. Batimetría en el puerto de Villajoyosa. (Fuente: Navionics)

## 5.- CAMBIO CLIMÁTICO

La Convención Marco sobre Cambio Climático define el cambio climático como: “Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.” (convsp.pdf, s. f.)

Hoy en día es una realidad que el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero están generando cambios relevantes en las distintas capas de la tierra, si no se toman medidas urgentes, estas alteraciones pueden generar situaciones desfavorables y difícilmente reversibles.

Los cambios en el clima global afectan en especial medida a mares y océanos, alterando en ellos los niveles medios, las alturas de ola, sus direcciones, las corrientes y temperaturas del agua. Este estudio se va a focalizar en la subida del nivel del mar que genera nuevas alturas de ola, más desfavorables que las actuales, y un cambio de dirección en el oleaje.

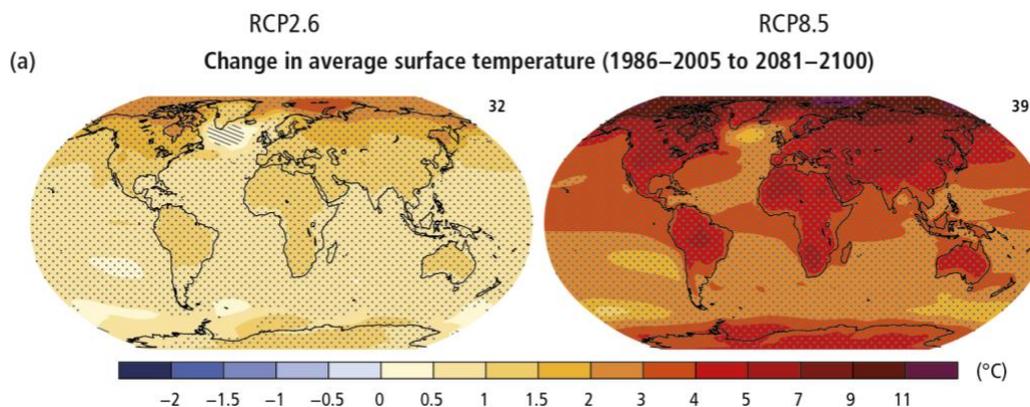


Imagen 7. Proyección de cambio en la temperatura de la superficie terrestre para los escenarios RCP2.6 y RCP8.5. (Fuente: IPCC)

El ascenso del nivel medio del mar está provocado por dos factores, ambos generados a raíz del calentamiento global:

- 1. Derretimiento de los polos:** La temperatura media del planeta ha ascendido 1,5 grados en los últimos 100 años, esto ha provocado que los glaciares de los casquetes polares se derritan, convirtiendo parte del hielo en agua líquida. Esa agua ahora se encuentra presente en mares y océanos provocando una subida en los niveles medios. Con el paso del tiempo la aportación de agua de los glaciares a mares y océanos será mayor y por consiguiente la subida de los niveles aumentará.
- 2. Absorción de calor atmosférico:** El mar Mediterráneo es un lugar muy sensible a los cambios globales en el clima. Uno de los factores más influyentes en el nivel del mar es el calentamiento global, los gases emitidos a la atmósfera están calentando las aguas del mar Mediterráneo a mayor velocidad que el resto de los

océanos, ésta aceleración del proceso está causada por la diferencia de profundidad que existe entre el mar Mediterráneo, con una profundidad media de 1.500 metros frente a los más de 4.000 metros de profundidad media que poseen los océanos. El mar Mediterráneo absorbe el calor atmosférico y esto provoca una expansión térmica de las aguas. Esta expansión térmica genera un aumento del volumen.

Ante el crecimiento de las evidencias que confirman la existencia del calentamiento global, en 1988 se crea el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), un organismo formado por científicos que tiene como objetivo evaluar los cambios que está sufriendo el clima, sus causas, las posibles repercusiones y las estrategias de respuesta ante dichas alteraciones en el medio.

El IPCC es un panel de expertos que plantea cuatro escenarios con relación al cambio climático y su evolución para los próximos años. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático plantea cuatro escenarios climáticos, con ayuda del visor C3E Cantabria, se van a analizar dos escenarios. Dentro de los escenarios RCP6.5 y RCP8.5 se va a estudiar los cambios en el nivel del mar, las direcciones y las alturas de ola.

Para entender en qué se basan los distintos escenarios planteados por el IPCC, se presenta la siguiente tabla donde los distintos parámetros muestran los rangos de emisiones, forzamiento radiativo e incremento de temperatura que lleva consigo cada escenario RCP:

Escenario	Concentración de CO <sup>2</sup> (ppm)	Forzamiento Radiativo (Wm <sup>-2</sup> )	Aumento de temperatura terrestre (°C)	Aumento de temperatura del mar (°C)	Evolución
RCP2.5	421	Apróx. 3 y posteriormente disminuye	≈ 3	≈ 1,5	Estable/ Decreciente
RCP4.5	≈ 538	Apróx. 4,5 y se estabiliza	≈ 3,5	≈ 2	Estable
RCP6	≈ 670	Apróx. 6 y se estabiliza	≈ 4,5	≈ 3	Estable
RCP8.5	>935,90	Un 8,5 para 2100 y creciendo	≈ 7	≈ 4	Creciente

**Tabla 1. Relación de los escenarios RCP. Datos tomados del IPCC.**

El informe de 2014 confirma que el periodo de 1983 a 2012 ha sido el más cálido en los últimos 800 años y probablemente en los últimos 1400 años. Las emisiones de gases son más altas que nunca, se ha llegado a unas concentraciones de CO<sub>2</sub>, metano y óxido nitroso incomparable en 800.000 año; probablemente esta sea la causa principal del calentamiento global.

El estudio detallado de los escenarios planteados por el IPCC, así como la descripción de este organismo y las funciones que realizan se explica detalladamente en el “Anejo 1. Cambio Climático”.

## 6.- ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA

---

El puerto de la Villajoyosa posee más de 100.000 m<sup>2</sup> de agua abrigada gracias a sus obras de abrigo.

En el siguiente apartado se describe por un lado los criterios de diseño de las obras de abrigo del puerto. En segundo lugar, se analizan los posibles modos de rotura que pueden tener tanto el dique como el contradique debido, principalmente, al cambio climático.

Tanto los criterios de diseño del puerto de la Villajoyosa como los posibles modos de rotura de sus obras de abrigo se analizan más detalladamente en el “Anejo 2. Estado actual de las obras de abrigo del puerto de la Villajoyosa”.

### 6.1.- Actuaciones y antecedentes

---

A lo largo de su historia el puerto de Villajoyosa ha sufrido varias averías, especialmente en época de grandes temporales, y por consiguiente una serie de actuaciones se han llevado a cabo en las obras de abrigo del puerto.

El dique de Levante del puerto de Villajoyosa es una obra de abrigo en talud con espaldón que se puede dividir en tres partes, cada una de ellas es la ampliación del tramo anterior. El dique cuenta con una longitud total de 515 metros que junto con el contradique contribuye a que el puerto cuente con más de 100.000 m<sup>2</sup> de agua abrigada. El inicio de las obras data de 1923 pero no fue hasta 1936 que el dique de Levante quedó construido por completo, esto se debe a que las tres canteras más próximas agotaron su material. Desde 1936 hasta 1954 la primera alineación del dique de Levante se comportó aceptablemente, sin embargo en 1954 se opta por reforzar la sección con un manto de escollera de 4 toneladas y un talud de 3,5/1, esta medida se llevó a cabo de manera preventiva ya que la obra primitiva apenas había sufrido desgaste. El refuerzo de la sección resistió sin problemas hasta 1965, ya que un temporal proveniente del sureste generó olas de 5,5 metros, casi un metro más altas que para las que se había diseñado originariamente el dique (4,59 metros). El temporal produjo la desaparición de gran parte de la escollera del manto principal dejando al descubierto el paramento exterior del espaldón. El manto se reparó posteriormente, la reparación consistió en la colocación de un nuevo manto de escollera de 7 toneladas con el mismo talud de 3,5/1, se colocó directamente sobre la sección averiada además se amplió la cota del espaldón hasta + 8,25 metros. Gracias a la elevación del espaldón dejaron de producirse los rebases que se producían anteriormente causados por los temporales. Las obras de

reparación finalizaron en 1969 y desde entonces hasta hoy no se han producido más averías en el dique de Levante.

En cuanto al contradique del puerto de Villajoyosa no se han registrado averías a lo largo de su historia desde su construcción en 1962. Gracias al dique semi-sumergido que protege la playa del Varadero, el contradique se encuentra sobreprotegido y apenas se producen rebases con temporales puntuales.

## 6.2.- Criterios de diseño

La distribución de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa es la mostrada en la siguiente imagen:

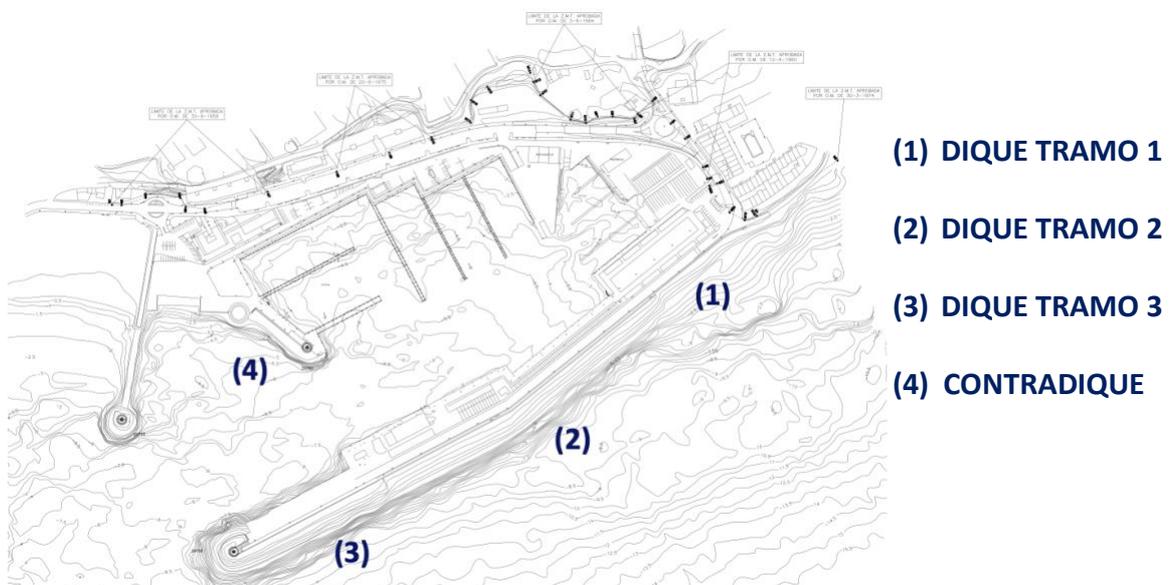


Imagen 8. Distribución de las obras de abrigo (Fuente: Consejería de Política Territorial)

Para estudiar las obras de abrigo del puerto, se diferenciará entre dique, obra paralela a la costa, y contradique, obra perpendicular a la costa.

- **DIQUE:**

Desde 1920 el dique de Levante del puerto de la Villajoyosa se ha ido ampliando en longitud y en cota de coronación del espaldón. Actualmente está dividido en tramo tres tramos:

- **TRAMO 1:** Este tramo tiene una longitud de 184 metros, está construido sobre el antiguo dique primitivo. Se trata de una sección en talud con espaldón que corona a la cota +8,25 metros. Se conserva el núcleo de la sección primitiva cuya cota de coronación se encuentra a -1,50 m. El manto principal está compuesto por escollera de 7 toneladas y con un peso específico de 2,6 t/m<sup>3</sup>. El talud es de 7/2, el mismo que para los mantos

secundarios, el cual comienza en la cota -6,20 m y corona en la +4,60 m, siendo la cota +0,00 el Nivel Medio del Mar en Alicante. El manto está compuesto por varias capas y tiene un espesor de 1,50 metros.

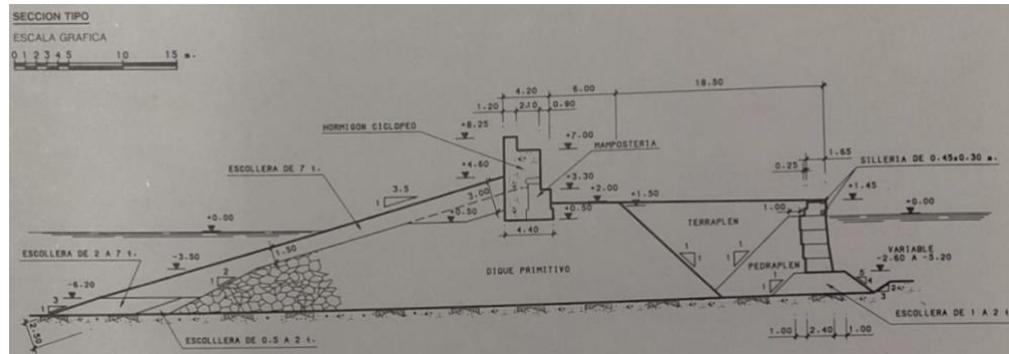


Figura 1. Sección del tramo uno del dique del puerto de Villajoyosa.

- **TRAMO 2:** Es el tramo más corto de los tres, con una longitud de 150 metros. Al igual que el tramo 1, tras el temporal de 1965 y las posteriores reparaciones, el espaldón de este fragmento del dique de Levante corona a la cota +8,25 m ya que antes de esta reforma se producían importantes rebases. Se conserva el núcleo de la sección primitiva del antiguo dique. La sección primitiva estaba compuesta por un núcleo de escollera de peso variable entre 0,002 y 1 t. con un talud exterior de 7/2 y un talud interior de 5/4, la cota de coronación del núcleo se encuentra a +0,50 m. Este tramo posee una berma de 2 metros de ancho a la cota +4,60 m.



Imagen 9. Vista del tramo dos del dique del puerto de Villajoyosa.

- **TRAMO 3:** Es el tramo más reciente, construido en 2003. Tiene una longitud de 180 metros, posee una sección en talud con espaldón que corona a la cota +8,25 metros. El manto principal está compuesto por bloques de hormigón de

dimensiones 2 x 2 x 2,75 metros y con un peso específico de 2,4 t/m<sup>3</sup>. El talud es de 7/2, el mismo que para los mantos secundarios, el cual comienza en la cota -6,20 m y corona en la +4,60 m. El manto está compuesto por varias capas y tiene un espesor de 1,50 metros.



Imagen 10. Vista del tramo tres del puerto de Villajoyosa.

- **CONTRADIQUE:**

Hasta el año XX el contradique del puerto de la Villajoyosa estaba compuesto por dos tramos, pero con la construcción en 19XX del espigón semi-sumergido para controlar la playa del Varadero y el posterior relleno del tramo 1 del contradique, solo se va a estudiar el tramo 2 ya que es la única zona del contradique que queda expuesto al oleaje. Cabe destacar que el contradique del puerto de la Villajoyosa se encuentra muy abrigado, gracias a la construcción del tramo 3 del dique en 2003. El tramo 2 se define como:

- **TRAMO 2:** Este tramo de contradique tiene una longitud de 72 metros, perpendicular a la costa. Se trata de una sección en talud con espaldón que corona a la cota + 4,5 metros. El manto principal está compuesto por escollera de 2 a 4 toneladas y con un peso específico de 2,70 t/m<sup>3</sup>. El talud es de 3/1. El manto está compuesto por 2 capas y tiene un espesor de 2 metros.

### 6.3.- Modos de fallo

---

Los posibles modos de fallo que se van a estudiar de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa son los siguientes:

- Rebase del espaldón.
- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento.
- Rotura del manto principal debido al oleaje.
- Asentamiento del terreno.

## 7.- CLIMA MARÍTIMO ACTUAL

### 7.1.- Introducción

El estudio del clima marítimo se va a dividir en tres apartados, en ellos se van a analizar los factores más determinantes para la rotura de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa. Los agentes que estudiar son:

- Nivel del mar.
- Viento.
- Oleaje.

Estos apartados son estudiados y explicados con detalle en el “Anejo 3. Clima Marítimo”.

La información necesaria para analizar los cuatro agentes ha sido adquirida de la web de Puertos Del Estado. Los datos se han obtenido a partir de la boya de Cabo de Palos y del punto SIMAR 2083102. Se ha descartado la boya de Alicante, a pesar de encontrarse más cercana a Villajoyosa, debido a que esta se encuentra en aguas someras.

### 7.2.- Nivel del mar

El principal factor que genera los distintos niveles del mar es la marea meteorológica. Los datos de carrera de marea registrados en el puerto de la Villajoyosa se obtienen a partir del mareógrafo del puerto de Gandía.

Observando los histogramas de Puertos del Estado, se podría afirmar que apenas existe carrera de marea en esta zona del mar Mediterráneo, sin embargo, escogeremos como máximo nivel de pleamar 0,5 metros, ya que es el nivel más alto registrado desde 2007.

Asimismo, se ha tenido en cuenta el mareógrafo del puerto de Alicante a pesar de que este descarta las posibles carreras de marea apreciables.

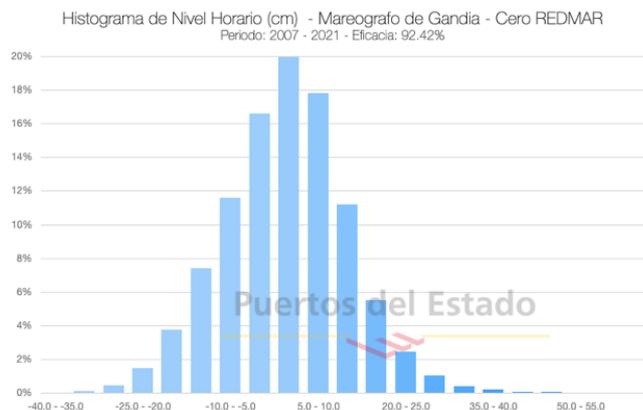


Imagen 11. Histograma de nivel del mar en Gandía. (Fuente: Puertos del Estado)

### 7.3.- Viento

Uno de los principales factores en los que influye el viento es en la generación de oleaje. Para estudiar las direcciones predominantes del viento, así como sus intensidades, acudimos a la web de Puertos del Estado y obtenemos los datos a partir del punto SIMAR2082102, dada la proximidad de este punto al puerto de la Villajoyosa.

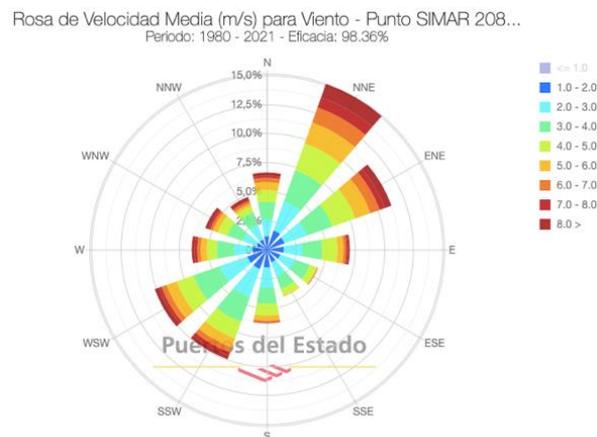


Imagen 12. Rosa de velocidad media del viento y dirección. (Fuente: Puertos del Estado)

Como se observa en la imagen 9, la dirección dominante del viento en velocidades más altas es Norte – Noreste. Sin embargo, también existen altas velocidades de viento en las direcciones Este – Noroeste, Sur – Suroeste y Oeste – Suroeste.

El régimen de vientos que se produce en esta parte del litoral peninsular suelen tener marcados una cierta estacionalidad. Las épocas de frío suelen venir acompañadas de rachas que superan los 60 Km/h, de hecho la racha más alta registrada en esta zona se produjo en enero del año 2009 donde se registró una velocidad de 95 Km/h. Por otro lado la media para esta época del año es de unos 30 Km/h. En los meses de verano se suelen registrar los vientos más suaves en todo el año.

### 7.4.- Oleaje

A partir de la información proporcionada por la boya de Cabo de Palos y el punto SIMAR2082102, se han obtenido los datos de régimen medio y régimen extremal. Estos datos servirán para estudiar los posibles escenarios futuros que pueden sufrir las obras de abrigo del puerto.

En primer lugar estudiamos el régimen medio:

La dirección predominante de Este y Sur – Este se produce especialmente en las estaciones de primavera, donde la altura de ola puede llegar a alcanzar valores de 2 y 2,50 metros especialmente cuando la dirección predominante es Este donde, como ya se menciona anteriormente, es la dirección donde se obtiene el fecht más largo.

Las diferentes alturas del oleaje y los periodos pico en función de las cuatro direcciones predominantes son las siguientes:

- ESTE:  $H_s = 2,20$  metros.  $T_p = 6,52$  segundos.
- ESTE – SURESTE:  $H_s = 1,90$  metros.  $T_p = 6,15$  segundos.
- SUR – SUROESTE:  $H_s = 2,00$  metros.  $T_p = 6,28$  segundos.
- SUR:  $H_s = 1,70$  metros.  $T_p = 5,88$  segundos.

En cuanto al régimen extremal se tiene lo siguiente:

A partir de los datos obtenidos en el informe de régimen extremal para la boya de Cabo de Palos obtenemos la siguiente rosa de altura significativa de ola de tipo anual, en ella se puede observar como las direcciones predominantes son Este y Noreste. Estas direcciones de oleaje se observan prácticamente durante todo el año a excepción de los meses de invierno donde la dirección predominante es la de Suroeste donde se alcanzan elevadas alturas de ola.

Para el régimen extremal se tiene una altura de ola de 9,37 metros para un periodo de retorno de 225 años y un periodo pico de 11,64 segundos.

A partir del programa Cress.nl se ha calculado la propagación del oleaje en régimen extremal desde las aguas profundas de la boya de Cabo de Palos a las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa.

## 7.5.- Corrientes

Las corrientes son los movimientos de grandes masas de agua que se producen en mares y océanos debido a varios factores como puede ser la diferencia de temperaturas, las distintas densidades del agua o los movimientos del planeta entre ellos. Existen dos tipos de corrientes, las transitorias y las permanentes.

La corriente más importante del Mediterráneo es aquella que penetra desde el océano Atlántico por el Estrecho de Gibraltar y recorre el norte del continente africano hasta perder fuerza conforme se adentra al interior del Mediterráneo.



Imagen 13. Principales corrientes superficiales en el mar Mediterráneo.  
(Fuente: Ministerio de Ciencia e Innovación)

## 8.- AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CLIMA MARÍTIMO

El visor C3E plantea variaciones respecto a las alturas de ola del clima marítimo actual. En la siguiente tabla se muestra de manera resumida los incrementos en metros de las alturas de ola para los dos escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y para los periodos 2026 – 2045 y 2081 – 2100.

Escenario	$\Delta H_s$ (m) 2026 - 2045	$\Delta H_s$ (m) 2081 - 2100
RCP4.5	-0,0039	-0,0087
RCP 8.5	-0,0023	-0,0088

Tabla 2. Incrementos de altura significativa de ola

Como se puede observar en la tabla 1, las variaciones son negativas y prácticamente despreciables ya que la máxima variación se tiene para el escenario RCP8.5 para el periodo 2081 – 2100 y es de 8,8 milímetros, luego se puede concluir que la altura de ola no varía debido al cambio climático.

Los cambios en las direcciones predominantes del oleaje apenas cambian, se registra un máximo cambio de 4º para el escenario RCP8.5 y el periodo 2081 – 2100 luego se puede afirmar que el cambio climático no va a tener influencia en el ángulo de incidencia del oleaje.

Por otro lado, los cambios más importantes se registran en el nivel del mar. Según el AR4 entre 1993 y 2003 se registró un ascenso del nivel medio de 0,7 – 3,1 medido en milímetros por año. Esta variación en el nivel del mar se consiguió gracias al satélite TOPEX/Poseidon lanzado por la NASA al espacio en 1992 con el fin de realizar un mapa topográfico de los mares y océanos.

Como se observa en la imagen 13, tanto el escenario RCP4.5 como el RCP8.5 plantean una crecida del nivel de mar para el periodo 2081 – 2100. Si nos centramos en lo que plantea el escenario RCP4.5 se observa que en el puerto de Villajoyosa se toma un aumento del nivel del mar de unos 0,45 metros. Por otro lado, el escenario RCP8.5 plantea que el nivel de mar ascienda en este punto hasta 0,65 metros.

Como valor de cálculo se escoge el valor de 0,67 metros que propone el IPCC para el año 2100 según el escenario RCP8.5.

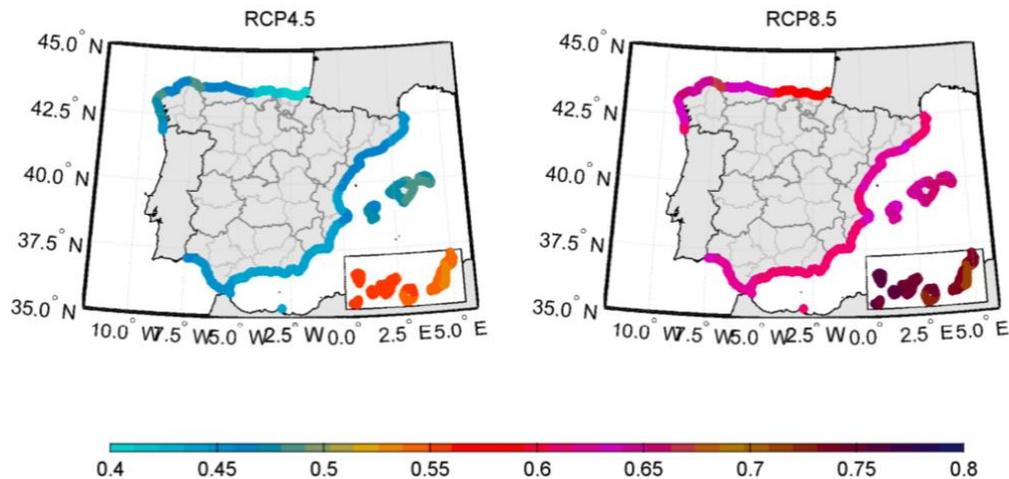


Imagen 14. Incremento de nivel de mar para el periodo 2081 – 2100 para los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). (Fuente: Gobierno de España)

Los datos para calcular los modos de fallo de las obras de abrigo son los siguientes:

1. **Nivel de mar:** Marea Astronómica + Marea Meteorológica + Ascenso del nivel del mar debido al cambio climático.  
Nivel de mar =  $0,5 + 0,3 + 0,67 = 1,47$  metros.  
Esto significa que el ascenso de nivel de mar que se va a aplicar al cálculo respecto al actual es de 1,47 metros.
2. **Altura de ola:** La altura de ola a escoger será la más desfavorable para Régimen Extremal más el incremento de altura de ola según el visor C3E. En este caso como se ve en la tabla 1, el incremento de oleaje se puede tomar como nulo. Luego la altura de ola de cálculo para comprobar los modos de rotura de las obras de abrigo será: 9,03.
3. **Periodo pico:** Para realizar los cálculos de los modos de rotura de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa se utilizará el valor del periodo pico calculado para el Régimen Extremal, es decir  $T_c = 11,64$  segundos.

## 9.- ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS OBRAS DE ABRIGO

En primer lugar se ha calculado los modos de fallo citados anteriormente y que pueden ocurrir en las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa. Se van a tener en cuenta dos escenarios:

- Escenario 0: Clima marítimo actual sin la influencia del Cambio Climático.
- Escenario 1: Clima marítimo actual influenciado por el Cambio Climático.

En cada escenario se van a analizar tres posibles modos de fallo, que se entiende como los que más posibilidades tienen de ocurrir en el puerto de Villajoyosa. Los modos de fallo que se van a estudiar tanto para el escenario 0 como el 1 son:

- Rebase del espaldón.
- Extracción del manto.
- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento.

Cada modo de fallo se analizará para los dos tramos en función de los materiales del manto, un tramo de escollera (tramo 1) y un tramo de bloques de hormigón (tramo 2). Para los dos tramos se tomará una profundidad media de 11 metros ya que es la que se encuentra en el tramo 2 y 3, el tramo 1 del dique tiene un calado de 8 metros pero tomamos el valor de 11 metros para simplificar y tomar la opción más desfavorable, ya que según la fórmula del EurOtop a mayor calado (con una misma altura de ola) existe mayor rebase.

El cálculo del rebase del oleaje sobre el espaldón se va a realizar a partir de la fórmula propuesta por EurOtop quien en 2007 publicó un manual sobre desbordamiento de olas de defensas marítimas que han ido actualizando hasta sacar su segunda versión en 2018.

La fórmula para calcular los rebases de en un dique en talud con manto de bloques o escollera y espaldón es la siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = Cr \cdot 0.2 \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right)$$

A partir de esta fórmula se obtiene un rebase para el escenario 0 (actual) de 0,026 m<sup>3</sup>/s/m.l., es decir el rebase se produce de unos 26 l/s/m.l. mientras que para el escenario 1 (con influencia del cambio climático) se obtiene un rebase de 0,065 m<sup>3</sup>/s/m.l., es decir de unos 65 l/s/m.l.

Dado que nuestra obra de abrigo se trata de un dique rompeolas, la máxima descarga permitida debido al rebase es de entre 5 y 10 litros por segundo y por metro. En cuanto a nivel de rebase permitido con construcciones al abrigo del dique se permite un máximo de > 5 l/s/m.l. Tomaremos como valor máximo de rebase permitido 15 l/s/m.l.

La rotura del manto se va a calcular a partir de la fórmula de Hudson (1959), en ella está presente el parámetro K<sub>D</sub> que se refiere a la estabilidad hidráulica de las piezas del manto principal. La fórmula de Hudson (1959) utiliza este coeficiente para considerar la estabilidad hidráulica de cada pieza, en este caso bloques de hormigón y escollera.

La fórmula de Hudson es la siguiente:

$$W = \frac{1}{K_D} \cdot \frac{H^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \cdot \frac{\gamma_r}{\cot \alpha}$$

A partir de esta fórmula se obtiene que el manto de escollera debería tener un peso para un escenario con cambio climático de 13 toneladas mientras que el manto de bloques debería tener un peso de 15,5 toneladas. El manto de bloques cumple con lo que propone la fórmula de Hudson mientras que el de escollera no.

A continuación se calcula la inestabilidad del espaldón, para ello se han empleado las fórmulas de fuerzas verticales, horizontales y momentos para comparar las fuerzas estabilizadoras con las desestabilizadoras. El espaldón del dique del puerto de Villajoyosa cumple en escenario 0, las inestabilidades del espaldón, mientras que en un hipotético escenario 1 no cumpliría los mínimos de seguridad frente al vuelco pero sí frente al deslizamiento.

En cuanto al asentamiento del núcleo, las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa se encuentran construidas desde los 70, en los 50 años que lleva construido el puerto no se ha registrado asentamiento del terreno o inestabilidad de este, luego se puede descartar la posibilidad de que el núcleo de las obras de abrigo sufran asentamientos tras haber transcurrido tanto tiempo desde su colocación. En el caso del dique de Levante se conserva el núcleo primitivo que data de 1936, es decir el núcleo en más de 80 años desde su colocación no ha sufrido asentamientos o inestabilidades del terreno.

Como soluciones frente a estos problemas se propone:

- Elevar la cota del espaldón.
- Colocar una nueva capa en el manto.
- Solución mixta.

## 10.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución escogida es la que consiste en elevar la cota del espaldón evitando así que los rebases sean excesivos en un posible escenario de cambio climático.

Por lo tanto como solución se propone elevar la coronación del espaldón 2 metros, alcanzando la cota +10,25 metros. En “Documento 2. Planos” se adjunta la solución elevando el espaldón en dos metros. Dado que el espaldón del dique del puerto de Villajoyosa es de tipo transitable se ha propuesto, elevando la cota del espaldón, mantener el muro de coronación de 1,25 metros (como el actual) para no evitar así la pérdida de visibilidad al mar por parte de los viandantes. Así mismo, como se presenta

en “Anejo 6. Valoración Económica” , esta solución es la más económica y menor duración de ejecución tendría.

Como se comenta en el apartado anterior, esta modificación en el dique cumpliría con el máximo rebase recomendado según el EurOtop. Pasaríamos de tener, en un escenario de cambio climático RCP8.5 con una elevación del nivel del mar de 0,67 metros para el periodo 2081 – 2100, un rebase de 65 l/s/m.l. a 14 l/s/m.l.

En la siguiente figura se muestra el cambio que se produciría en el espaldón si esta solución se llevara a cabo. El los 514 metros de espaldón del dique del puerto de Villajoyosa seguirían siendo transitables y poseerían un muro de protección de 1,25 metros de altura que permitiría una visión total si se camina por el espaldón.

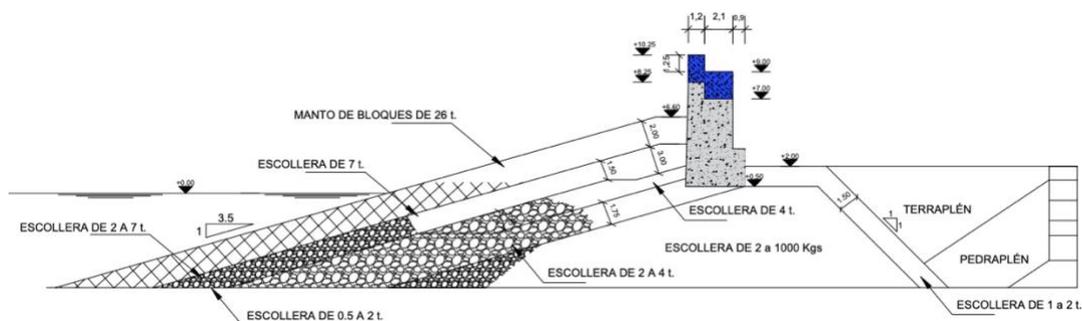


Figura 2. Solución mediante elevación de la cota del espaldón.

Para la solución adoptada se ha calculado los valores de estabilidad frente al vuelco y el deslizamiento. Al incrementar el peso del espaldón, los problemas de inestabilidad frente al vuelco que aparecían en el espaldón para el escenario 1 desaparecen. A continuación se muestra la comprobación con el crecimiento del espaldón, en caso de que no se cumpliera los mínimos de estabilidad se optaría por ensanchar el espaldón consiguiendo así un muro más estable.

En primer lugar calculamos la estabilidad frente al deslizamiento. Para ello usamos la siguiente fórmula:

$$CSD = \frac{\sum Fest}{\sum Fdes} = \frac{\mu * (W - Fv)}{Fh}$$

Luego para el escenario 1:

$$CSD = \frac{1 * \left( 812,1 \frac{Kn}{m} - 78,85 \frac{Kn}{m} \right)}{555,96 \frac{Kn}{m}} = 1,32 > 1$$

Para un posible escenario de cambio climático el nuevo espaldón sería resistente al deslizamiento ya que las fuerzas estabilizadoras son superiores a las desestabilizadoras.

Por último calculamos la estabilidad del espaldón frente al vuelco, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$CSV = \frac{\sum M_{est}}{\sum M_{vol}} = \frac{M_w}{M_h + M_v}$$

Para ello se ha calculado el nuevo momento estabilizador que genera el aumento de peso propio sobre el espaldón, se obtiene lo siguiente:

$$At = 9,75 * 1,2 + 2,1 * 8,5 + 1,1 * 3,9 = 33,84 \text{ m}^2$$

$$Wt = 33,84 * 24 = 812,1 \text{ Kn/m}$$

$$M_w = (9,75 * 1,2 * 24) * 3,8 + (2,1 * 8,5 * 24) * 2,15 + (1,1 * 3,9 * 24) * 0,55$$

$$M_w = 2045 \text{ Kn}\cdot\text{m}$$

$$M_h = F_h * 1/3 H_{\text{espaldón}} = 555,96 * 9,75/3 = 1806 \text{ Kn}\cdot\text{m/m}$$

$$CSV = \frac{2045 \text{ Kn}\cdot\frac{\text{m}}{\text{m}}}{1806 \text{ Kn}\cdot\frac{\text{m}}{\text{m}} + 231,3 \text{ Kn}\cdot\frac{\text{m}}{\text{m}}} = 1,2 > 1$$

El espaldón del dique del puerto de Villajoyosa a partir de la adaptación al cambio climático, creciendo el espaldón, cumpliría para un escenario RCP8.5 de cambio climático la resistencia frente al vuelco.

Por lo tanto cabe concluir que la solución 1 es la escogida, se trata de la opción más económica, con menos impacto ambiental ya que no interviene en el fondo marino y además cumple con las solicitudes de rebases, extracción del manto y estabilidad frente a vuelco y deslizamiento.

## 11.- VALORACIÓN ECONÓMICA

En “Anejo 6. Valoración económica” se muestra detalladamente de donde se han obtenido los precios y las respectivas mediciones.

Para la solución 1 se elabora la siguiente valoración económica:

CAPÍTULO		IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1</b>	Replanteo	1.540, 56
<b>CAPÍTULO 2</b>	Reparación del espaldón actual	10.265,32
<b>CAPÍTULO 3</b>	Tareas previas	4.267,08
<b>CAPÍTULO 4</b>	Construcción del nuevo espaldón	1.001.640,01
<b>CAPÍTULO 5</b>	Señalización y balizamiento	12.687,19
<b>CAPÍTULO 6</b>	Seguridad y salud	14.459, 15
<b>TOTAL</b>		1.044.859,33



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA (ALICANTE)**



Luego la solución 1, de manera aproximada tendría un coste de ejecución material de 1.044.859,33 EUROS.

Y la valoración económica para la solución 3 sería de manera aproximada la siguiente:

<b>CAPÍTULO</b>		<b>IMPORTE</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	Replanteo	3.5620, 56
<b>CAPÍTULO 2</b>	Reparación del manto actual	10.265,32
<b>CAPÍTULO 3</b>	Colocación del nuevo espaldón	876.435,02
<b>CAPÍTULO 4</b>	Colocación del nuevo manto	5.618.577,68
<b>CAPÍTULO 5</b>	Señalización y balizamiento	12.687,19
<b>CAPÍTULO 6</b>	Seguridad y salud	14.459, 15
<b>TOTAL</b>		6.568.044,92

Luego la solución 3, de manera aproximada tendría un coste de ejecución material de 6.568.044,92EUROS.

## 11.- CONCLUSIÓN

---

En este trabajo fin de grado se ha demostrado como antiguamente se construía sin tener en cuenta los cambios que se pueden producir en el clima, en este caso en el clima marítimo. Se ha comentado como el cambio climático es una realidad en nuestras vidas y según los estudios analizados va a ir empeorando con el paso de los años.

En este estudio se ha tratado de proponer unas soluciones ante los posibles modos de rotura que pueden sufrir las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa, para ello es importante realizar el análisis del clima marítimo actual, el cambio climático con influenciado por el calentamiento global y como puede ello interferir en el clima que hoy conocemos y tenemos. Mediante las soluciones propuestas se evitarían los problemas causados por el ascenso del nivel del mar hasta 2100 en un escenario RCP8.5 de cambio climático. El puerto de Villajoyosa, si se cumplen las previsiones del IPCC, necesitará realizar una reforma en sus obras de abrigo para protegerse del nuevo clima marítimo que nos espera. Todo indica a que nuestras emisiones a la atmósfera seguirán aumentando exponencialmente, algo por lo que cada uno de nosotros deberíamos trabajar para evitarlo y no llegar a una situación irreversible.

En Valencia, septiembre de 2021



Fdo. Ricardo Martínez Cereijo

## 12.- BIBLIOGRAFÍA

---

- *Rebase*. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de

<https://www.cubipod.com/disenno/rebase/>

Cambio climático: Los 6 gráficos que muestran el estado actual del calentamiento global.

(s. f.). *BBC News Mundo*. Recuperado 23 de agosto de 2021, de

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-46426822>

*Convsp.pdf*. (s. f.). Recuperado 27 de julio de 2021, de

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

*Español—IPCC*. (s. f.). Recuperado 27 de julio de 2021, de [https://www.ipcc.ch/languages-](https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/)

[2/spanish/](https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/)

*Estrategiaadaptacionccaprobada\_tcm30-420088.pdf*. (s. f.). Recuperado 29 de agosto de

2021, de [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-2/costa/estrategiaadaptacionccaprobada_tcm30-420088.pdf)

[costa/estrategiaadaptacionccaprobada\\_tcm30-420088.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-2/costa/estrategiaadaptacionccaprobada_tcm30-420088.pdf)

*GLOB\_2\_3\_3656.pdf*. (s. f.). Recuperado 1 de agosto de 2021, de

[https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/globales/GLOB\\_2\\_3\\_3656.pdf](https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/globales/GLOB_2_3_3656.pdf)

*Google Maps*. (s. f.). Google Maps. Recuperado 1 de agosto de 2021, de

<https://www.google.es/maps/@38.5077581,-0.2183709,636m/data=!3m1!1e3>

*Información General—Generalitat Valenciana*. (s. f.). Recuperado 1 de agosto de 2021, de

[https://politicaterritorial.gva.es/en/web/puertos/puertos-cv/puertos-](https://politicaterritorial.gva.es/en/web/puertos/puertos-cv/puertos-2/gv/villajoyosa/informacion-general)

[gv/villajoyosa/informacion-general](https://politicaterritorial.gva.es/en/web/puertos/puertos-cv/puertos-2/gv/villajoyosa/informacion-general)

La cofradía. (s. f.). *Cofradía de Pescadores de Villajoyosa*. Recuperado 24 de agosto de 2021,

de <http://www.cofradiapescadoreslavila.com/la-cofradia/>



ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOYOSA (ALICANTE)



Martins *et al.* - Eduardo Soler Torres, Dr. *En Biología.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de [http://www.ipacuicultura.com/recursos/EIA\\_Villajoyosa.pdf](http://www.ipacuicultura.com/recursos/EIA_Villajoyosa.pdf)

Martins, M. B., Martínez, B., & Villa, J. (s. f.). *Eduardo Soler Torres, Dr. En Biología*. 160.

Molines, J., Herrera, M. P., & Medina, J. R. (2018). Estimations of wave forces on crown walls based on wave overtopping rates. *Coastal Engineering*, 132, 50-62.  
<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.11.004>

Navionics ChartViewer. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de <https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@14&key=c~jFhfi%40>

Obsevatorio de Salud y Cambio Climático. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de [http://www.oscc.gob.es/es/general/salud\\_cambio\\_climatico/Nuevos\\_escenarios\\_emision\\_RCPs.htm](http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/Nuevos_escenarios_emision_RCPs.htm)

PORTUS (Puertos del Estado). (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de <https://portus.puertos.es/index.html?locale=es#/>

Prediccion de oleaje, nivel del mar ; Boyas y mareografos | puertos.es. (s. f.). Recuperado 5 de agosto de 2021, de <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puerto de La Vila Joiosa—Comunitat Valenciana. (s. f.). Recuperado 1 de agosto de 2021, de <https://www.comunitatvalenciana.com/es/alacant-alicante/la-vila-joiosa-villajoyosa/nautica/puerto-de-la-vila-joiosa>

Pullen *et al.* - 2007—*EurOtop wave overtopping of sea defences and rela.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de [http://www.overtopping-manual.com/assets/downloads/EAK-K073\\_EurOtop\\_2007.pdf](http://www.overtopping-manual.com/assets/downloads/EAK-K073_EurOtop_2007.pdf)

Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., Meer, J. W. van der, & Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Eds.). (2007). *EurOtop: Wave*



*overtopping of sea defences and related structures: assessment manual*. Boyens Medien.

*Qué es el cambio climático*. (s. f.). Recuperado 27 de julio de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/>

*ROM 0\_0-01.pdf*. (s. f.). Recuperado 1 de septiembre de 2021, de <https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200-01.pdf>

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J. M., Hegerl, G. C., Heimann, M., Hewitson, B., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., ... Wratt, D. (s. f.). *Coordinating Lead Authors: 74*.

*SYR\_AR5\_FINAL\_full\_es.pdf*. (s. f.). Recuperado 24 de agosto de 2021, de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

*U0657502.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de <http://www.upv.es/contenidos/ENCDOC/info/U0657502.pdf>

*VISOR C3E*. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2021, de <https://c3e.ihcantabria.com/>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

## *ANEJO 1. CAMBIO CLIMÁTICO*

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE

---

1.- INTRODUCCIÓN .....	4
2.- CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL .....	4
3.- CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MEDITERRÁNEO .....	5
4.- PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO .....	8
4.1.- Descripción.....	8
4.2.- Escenarios .....	8
4.3.- Informe 2014.....	11

## 1.- INTRODUCCIÓN

---

La Convención Marco sobre Cambio Climático define el cambio climático como:  
*“Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.” (convsp.pdf, s. f.)*

En este anejo se va a explicar y analizar el cambio climático a nivel global y especialmente el que sufre el mar Mediterráneo. Por otro lado se explicará qué es el IPCC, quién lo constituye, qué escenarios plantea y qué medidas preventivas se pueden tomar en relación al calentamiento global que sufre nuestro planeta.

## 2.- CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

---

A día de hoy es una realidad que el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero están generando cambios relevantes en las distintas capas de la tierra, si no se toman medidas urgentes, estas alteraciones pueden generar situaciones desfavorables y difícilmente reversibles.

Los cambios en el clima global afectan en especial medida a mares y océanos, alterando en ellos los niveles medios, las alturas de ola, sus direcciones, las corrientes y temperaturas del agua. Este anejo se va a focalizar en la subida del nivel del mar y en las nuevas alturas de ola, más desfavorables que las actuales.

El ascenso del nivel medio del mar está provocado por dos factores principalmente, ambos generados a raíz del calentamiento global:

- 1. Derretimiento de los polos:** La temperatura media del planeta ha ascendido 1,5 grados en los últimos 100 años, esto ha provocado que los glaciares de los casquetes polares se derritan, convirtiendo parte del hielo en agua líquida. Ese agua ahora se encuentra presente en mares y océanos provocando una subida en los niveles medios. Con el paso del tiempo la aportación de agua de los glaciares a mares y océanos será mayor y por consiguiente la subida de los niveles aumentará.
- 2. Absorción de calor atmosférico:** El mar Mediterráneo es un lugar muy sensible a los cambios globales en el clima. Uno de los factores más influyentes en el nivel del mar es el calentamiento global, los gases emitidos a la atmósfera están calentando las aguas del mar Mediterráneo a mayor velocidad que el resto de océanos, ésta aceleración del proceso está causada por la diferencia de profundidad que existe entre el mar Mediterráneo, con una profundidad media de 1.500 metros frente a los más de 4.000 metros de profundidad media que poseen los océanos. El mar Mediterráneo absorbe el calor atmosférico y esto provoca una expansión térmica de las aguas. Esta expansión térmica genera un aumento del volumen.

En la siguiente imagen se muestra el aumento de la temperatura media de la superficie terrestre para el periodo de 1986 – 2005, gracias a la información proporcionada por el IPCC, se puede observar que la superficie de la Tierra está sufriendo un aumento exponencial de su temperatura desde 1986.

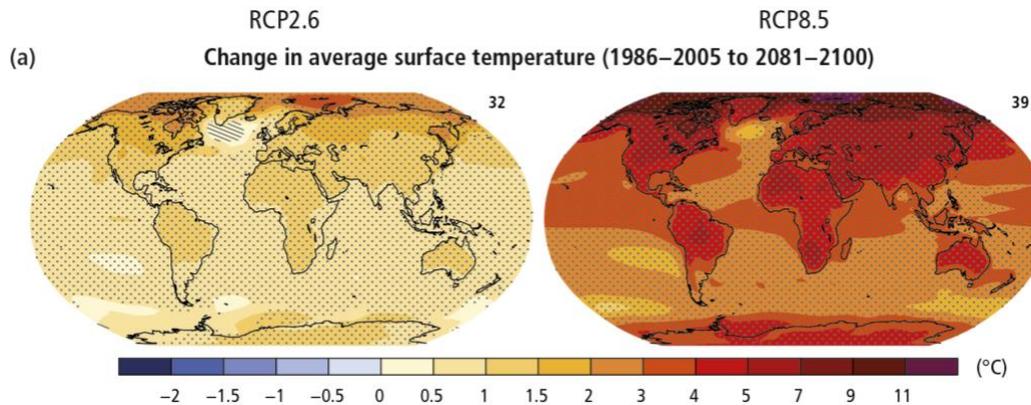


Imagen 1. Proyección de cambio en la temperatura de la superficie terrestre para los escenarios RCP2.6 y RCP8.5. (Fuente: IPCC)

Ante el crecimiento de las evidencias que confirman la existencia del calentamiento global, en 1988 se crea el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), un organismo formado por científicos que tiene como objetivo evaluar los cambios que está sufriendo el clima, sus causas, las posibles repercusiones y las estrategias de respuesta ante dichas alteraciones en el medio. En este anejo se explicará qué es el IPCC, los escenarios que plantea y se analizará su último informe realizado en 2014.

### 3.- CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MEDITERRÁNEO

El calentamiento global, como veremos más adelante, afecta mayoritariamente a las aguas poco profundas, un ejemplo de ello es el mar Mediterráneo.

Las costas del mar Mediterráneo se encuentran excesivamente pobladas de actividad humana, esto deriva en altas concentraciones de población, pesca excesiva, además de los impactos que produce el sector agrícola y turístico en el litoral y en el medio marino. El mar Mediterráneo se encuentra prácticamente encerrado entre tres continentes: Europa, Asia y África, es por ello que el Mediterráneo se considere un mar más sensible a las alteraciones del clima en relación a otros mares y océanos de la Tierra.

Si se compara la profundidad de los océanos del planeta con la del Mediterráneo entendemos la situación delicada que sufre este mar al estar expuesta al calentamiento global, ya que es un volumen de agua menor y por lo tanto se calienta a mayor velocidad que el resto de mares y océanos de la Tierra. El mar Mediterráneo tiene una profundidad media de unos 1500 metros mientras que los océanos tienen hasta 4000 metros de profundidad media.

Por otro lado, el balance de calor y salinidad en el mar Mediterráneo se encuentra bastante restringido ya que al tratarse de un mar semicerrado los flujos de intercambio de sal y temperatura se producen con el océano Atlántico de manera limitada a través del Estrecho de Gibraltar.

Un aumento de salinidad en el agua provoca que el punto de ebullición ascienda, lo que dificulta la evaporación de las aguas. El cambio climático colabora en el aumento de la salinidad del Mediterráneo pero éste no es el único factor a considerar, los seres humanos también han contribuido de manera indirecta al aumento de salinidad del mar mediante la reducción de aportes de agua dulce. Un claro ejemplo es el de la construcción de la presa Asuán, en el río Nilo, o la construcción de embalses de las aguas del Ebro en los 60, reduciendo drásticamente las aportaciones de agua dulce al Mediterráneo. Por otro lado la construcción del canal de Suez con sus continuas intentonas de ensanchar y aumentar el calado genera un flujo de agua más salada procedente del mar Rojo.

De no ser por el océano Atlántico y por las aportaciones de agua que realiza en el Mediterráneo, el mar quedaría seco ya que las precipitaciones son muy escasas, así como los aportes de agua de ríos y embalses en relación a la evaporación que sufre el mar.

El aumento de la salinidad está provocando que las aguas intermedias y profundas del mar Mediterráneo aumenten su temperatura y especialmente que las aguas profundas aumenten su salinidad. En la siguiente imagen se puede observar la evolución de las temperaturas en la columna de agua a lo largo de los últimos 20 años. Se observa que la temperatura en aguas intermedias y profundas ha aumentado hasta 5 grados de media.

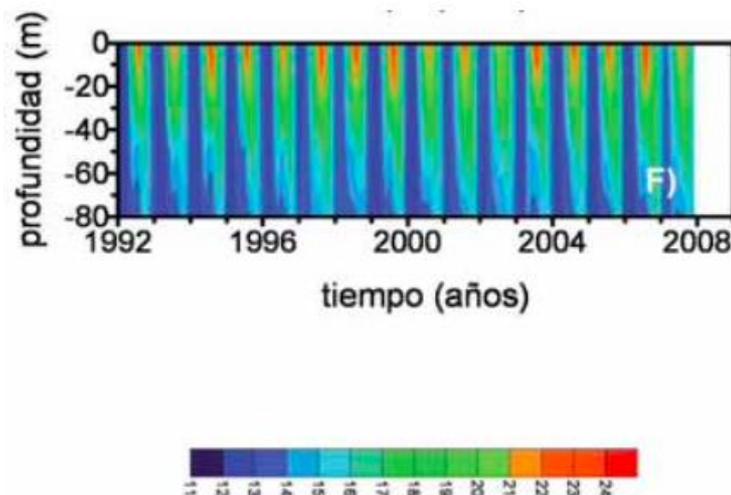


Imagen 2. Evolución temporal de la temperatura a lo largo de la columna de agua en el Mediterráneo. (Fuente: Instituto Español de Oceanografía)

El mar Mediterráneo, en resumen, se está calentando debido principalmente al calentamiento global, las capas más superficiales del mar han aumentado su temperatura media en los últimos 30 años. Si a este factor añadimos la escasez de

precipitaciones en el Mediterráneo, el aumento de su salinidad y finalmente, el aporte de agua debido al derretimiento de los polos, podemos confirmar que el nivel medio del mar está subiendo del orden de 2 a 8 mm/año según un estudio que realiza el Instituto Nacional de Oceanografía en las costas de Málaga.

El cambio climático es una realidad y el Mediterráneo, por sus características y morfología, es un mar más sensible frente a cambios en el clima que el resto de océanos y mares del mundo. El mar Mediterráneo aumentará su temperatura con el paso de los años, también aumentará su salinidad y su volumen, lo que se traduce en una subida del nivel del mar prácticamente irremediable.

Los cambios mas importantes, según los informes del IPCC, están relacionados con el incremento del nivel del mar. El aumento del nivel de mar es una realidad en el mar Mediterráneo, los mares y océanos van a sufrir un aumento en su volumen debido a varios factores, entre ellos el derrite de los polos, el aumento de la temperatura del mar y, en el caso del mar Mediterráneo, el aumento de su salinidad.

Como se observa en la imagen 3, tanto el escenario RCP4.5 como el RCP8.5 plantean una crecida del nivel de mar para el periodo 2081 – 2100. Si nos centramos en lo que plantea el escenario RCP4.5 se observa que en el puerto de Villajoyosa se toma un aumento del nivel del mar de unos 0,45 metros. Por otro lado, el escenario RCP8.5 plantea que el nivel de mar ascienda en este punto hasta 0,65 metros.

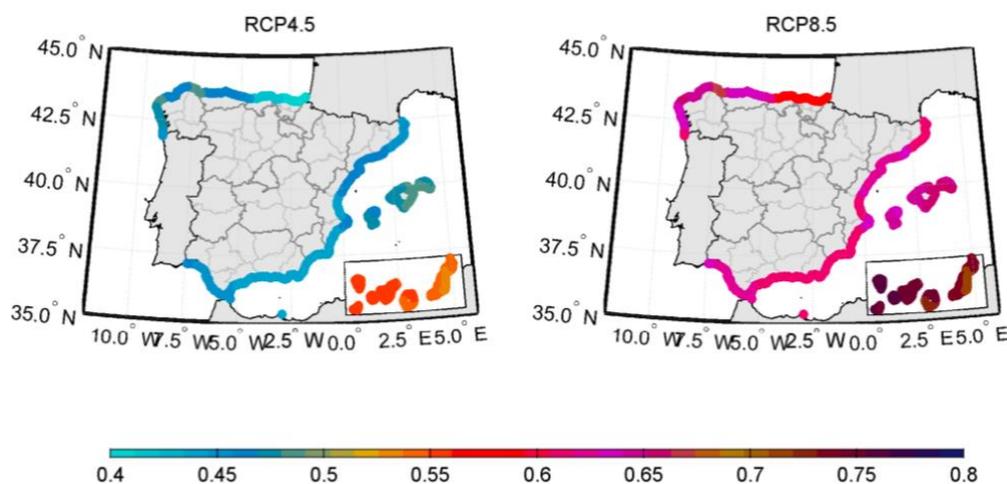


Imagen 3. Incremento de nivel de mar para el periodo 2081 – 2100 para los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). (Fuente: Gobierno de España)

De acuerdo con el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4), el nivel medio global de mares y océanos se encuentra en continuo ascenso desde 1870, según sus reconstrucciones y registros de mareógrafos. Se trata de un informe a nivel global pero se puede utilizar como herramienta para conocer que está ocurriendo con el nivel medio de mares y océanos en los últimos años, donde se muestra un claro ascenso de los niveles medios. Según el AR4 entre 1993 y 2003 se registró un ascenso del nivel medio

de 0,7 – 3,1 medido en milímetros por año. Esta variación en el nivel del mar se consiguió gracias al satélite TOPEX/Poseidon lanzado por la NASA al espacio en 1992 con el fin de realizar un mapa topográfico de los mares y océanos.

## 4.- PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

---

### 4.1.- Descripción

---

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés, es un organismo fundado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) junto con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988 con el fin de evaluar, controlar y prevenir los cambios que sufre el clima terrestre. Se trata de una comunidad de científicos de todo el mundo, que de manera no lucrativa, realizan estudios e informes con el fin de evaluar la información pertinente para entender qué es el cambio climático y como influyen los seres humanos en él.

### 4.2.- Escenarios

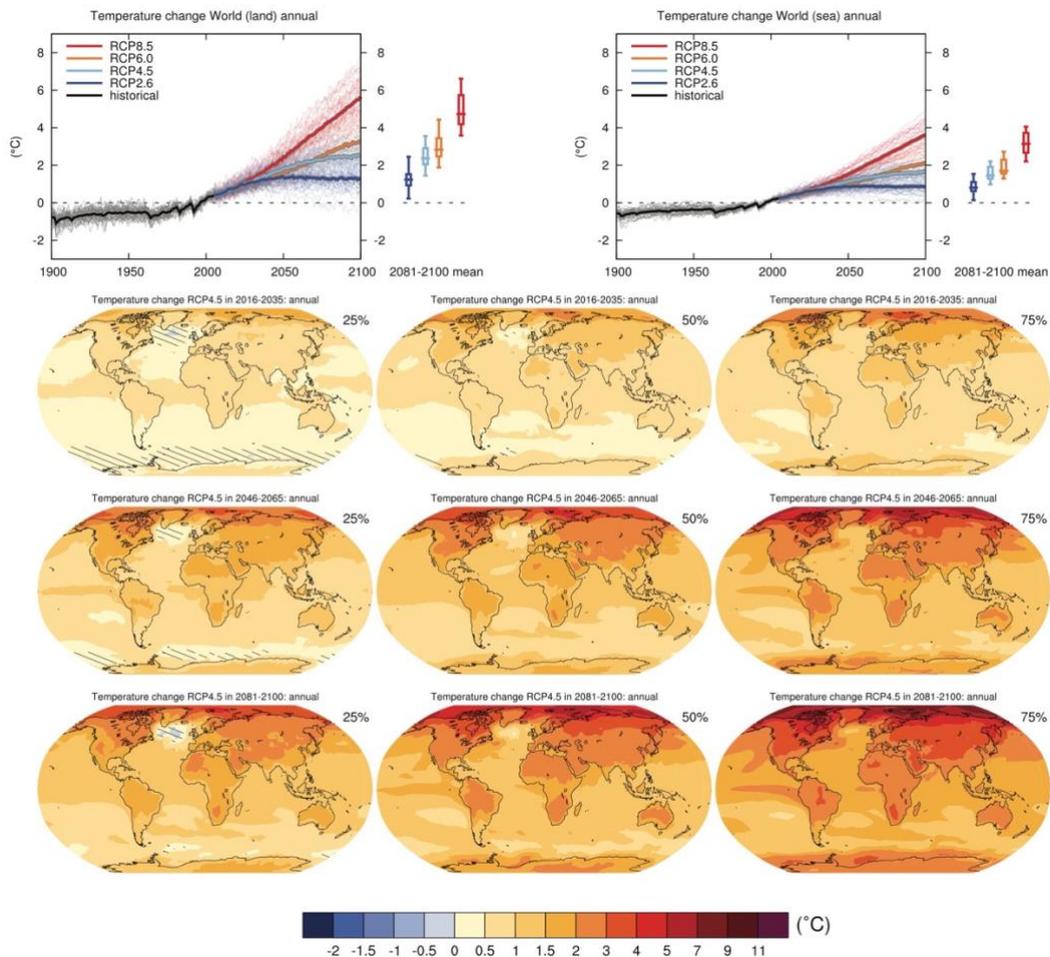
---

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático plantea 4 escenarios climáticos, con ayuda del visor C3E Cantabria, se van a analizar dos escenarios. Dentro de estos dos escenarios se van a estudiar los cambios en el nivel del mar, cambios en las direcciones y las nuevas alturas de ola.

En este caso los escenarios del IPCC que se van a tener en cuenta son el RCP4.5 y el RCP8.5 ambos para el periodo 2081 – 2100, se realiza para este periodo ya que se entiende que los efectos más desfavorables llegarían transcurridos estos años. Los escenarios sirven para proyectar posibles situaciones futuras en función de las actuaciones que se lleven a cabo y cómo evolucione el clima. Los cuatro escenarios se basan en el calentamiento global en función de las emisiones futuras, éstos van desde la A a la D (A, B, C y D), siendo la A seguir como nos encontramos hasta ahora, el resto van aumentando en función del control que se ponga a estas emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Las dos Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) que se van a analizar son el RCP4.5, el cual se trata del escenario más estable de los dos en términos de emisiones, mientras que el RCP8.5 es el escenario planteado para un nivel muy alto de emisiones.

En la siguiente imagen se muestra lo que el escenario RCP4.5 plantea, a través del “AR 5 Climate Change 2013”, donde fueron publicados estos análisis los cuales se encuentran divididos de manera global y regional para las emisiones que plantea este escenario y como afectaría en el calentamiento global.

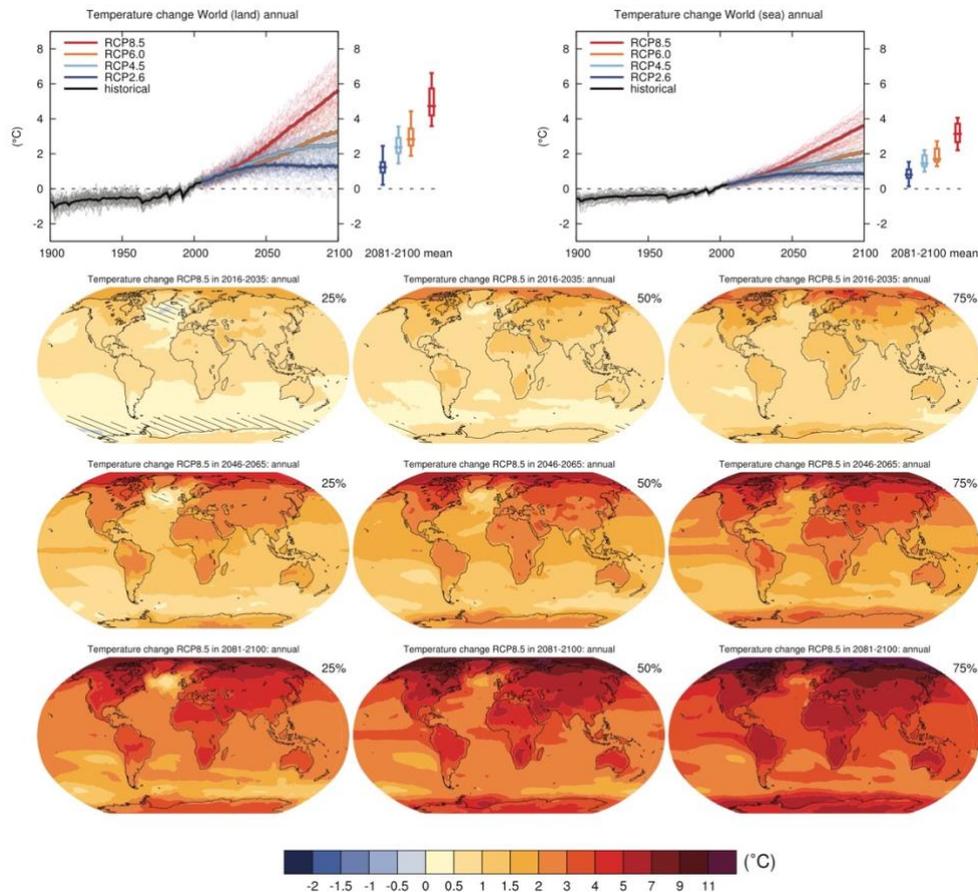


**Imagen 4. Cambios en la temperatura del suelo y del agua para el escenario RCP4.5 dividido en tres periodos desde 2016 hasta 2100. (Fuente: IPCC)**

Se puede observar como el escenario RCP4.5 plantea un ascenso de 2°C en la temperatura media de los mares y océanos para un periodo que avanza desde la actualidad hasta el año 2100. Por otro lado, este mismo escenario supone un ascenso en la superficie terrestre en este caso de hasta 3,5°C para los próximos 80 años.

El escenario RCP4.5 está basado en un ligero aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación a lo ya existente. Es el primer escenario de los cuatro que supone un aumento de las emisiones actuales aunque de forma más restringida que las que plantean los escenarios RCP6 y RCP8.5.

En cuanto al escenario RCP8.5, el cual se basa en mayores emisiones a la atmósfera lo que se traduce en mayores temperaturas de la superficie terrestre así como de los mares y océanos. En la siguiente imagen se muestra lo expuesto por el IPCC en 2013 acerca del escenario más desfavorable:



**Imagen 5. Cambios en la temperatura del suelo y del agua para el escenario RCP8.5 dividido en tres periodos desde 2016 hasta 2100. (Fuente: IPCC)**

Si se realiza la comparativa entre la imagen 3 y la imagen 4, se observa como el escenario RCP8.5 plantea unas condiciones mucho más extremas, alcanzando temperaturas muy elevadas para el año 2100 tanto la superficie terrestre como los mares y océanos.

El escenario RCP8.5 es el más extremo y desfavorable que plantea el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. En esta publicación de 2013 (imagen 4), se observa como este escenario plantea la posibilidad de que para el año 2100 la temperatura de la superficie terrestre haya ascendido hasta 7°C mientras que los mares y océanos aumentarían en 4°C su temperatura media.

Para entender en qué se basan los distintos escenarios planteados por el IPCC, se presenta la siguiente tabla donde los distintos parámetros muestran los rangos de emisiones, forzamiento radiativo e incremento de temperatura que lleva consigo cada RCP:

Escenario	Concentración de CO <sup>2</sup> (ppm)	Forzamiento Radiativo (Wm <sup>-2</sup> )	Aumento de temperatura terrestre (°C)	Aumento de temperatura del mar (°C)	Evolución
RCP2.5	421	Apróx. 3 y posteriormente disminuye	≈ 3	≈ 1,5	Estable/Decreciente
RCP4.5	≈ 538	Apróx. 4,5 y se estabiliza	≈ 3,5	≈ 2	Estable
RCP6	≈ 670	Apróx. 6 y se estabiliza	≈ 4,5	≈ 3	Estable
RCP8.5	>935,90	Un 8,5 para 2100 y creciendo	≈ 7	≈ 4	Creciente

**Tabla 1. Relación de los escenarios RCP. Datos tomados del IPCC.**

Como ya se ha comentado, este trabajo se centrará en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, que asimismo son los que utiliza el visor C3E.Cantabria para elaborar sus predicciones de subidas de nivel del mar y cambio de direcciones que aparece en el Anejo 5.

### 4.3.- Informe 2014

En agosto de 2021 se publica un nuevo informe sobre el cambio climático por parte del IPCC, dada su reciente redacción, este anejo tratará sobre el publicado en 2014 ya que es en el que científicos, instituciones y gobernantes se basan para analizar los escenarios y posibles cambios que puede sufrir el clima de nuestro planeta.

El IPCC ha publicado 5 informes con el fin de evaluar el riesgo del cambio climático inducido por los seres humanos. Los 5 informes publicados sirven para proporcionar a los responsables políticos las evaluaciones técnicas y científicas más objetivas en el ámbito del cambio climático y del medio ambiente. En el informe de 2014 se afirma que el efecto invernadero natural hace que la temperatura de la tierra sea más cálida de lo que sería si no existiera este efecto. Por otro lado, las emisiones de gases a la atmósfera por parte de los seres humanos provocan que aumente la concentración de gases de efecto invernadero (vapor de agua, CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos) esto lleva consigo un aumento del efecto invernadero produciéndose así un calentamiento adicional de la superficie de la Tierra.

Con el objetivo de trazar proyecciones sobre la evolución de este calentamiento el IPCC desarrolla cuatro escenarios, el fin es poder realizar un análisis futuro de la concentración de gases en la atmósfera.

- Escenario A: Seguir con las mismas emisiones que se producen hasta ahora.
- Escenarios B, C y D: Consisten en aplicar niveles de control crecientes respectivamente.

El informe de 2014 confirma que el periodo de 1983 a 2012 ha sido el más cálido en los últimos 800 años y probablemente en los últimos 1400 años. Las emisiones de gases son más altas que nunca, se ha llegado a unas concentraciones de CO<sub>2</sub>, metano y óxido nítrico incomparable en 800.000 años; probablemente esta sea la causa principal del calentamiento global.

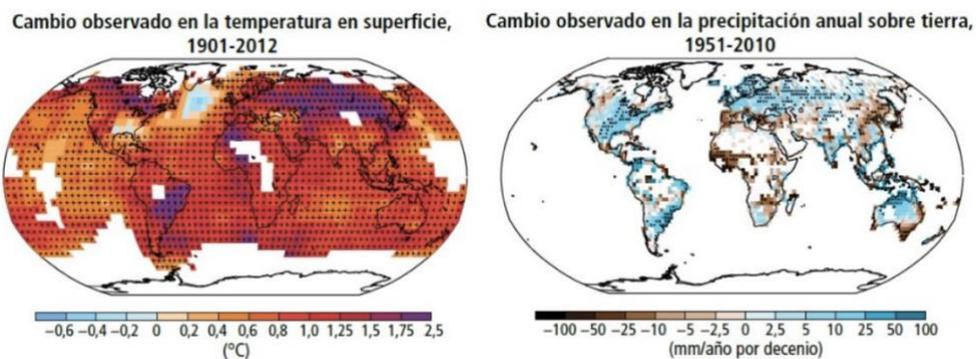


Imagen 6. Cambios de la temperatura en superficie y en la precipitación anual sobre la tierra. (Fuente: IPCC 2014)

Este calentamiento lleva consigo un aumento de las precipitaciones y los temporales además de que hayan más días de calor y menos de frío. El nivel medio del mar también se encuentra en continuo ascenso ya que según el informe del IPCC el nivel medio del mar actualmente es superior a de los dos últimos milenios. En cuanto al ascenso del nivel del mar, la comunidad de científicos del IPCC supone diferenciar entre “Dos Tierras” ya que la elevación del nivel del mar no será uniforme en todo el globo terráqueo. El 95% de las zonas oceánicas incrementarán su nivel, es decir, alrededor del 70% de las costas mundiales experimentarán un aumento en el nivel medio del mar de mas o menos el 20% de la media global.

El IPCC propone como principal solución la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los seres humanos con el fin de evitar un calentamiento global irreversible. Ya son muchas las empresas y ciertos países que tienen como objetivo para el año 2040 reducir las emisiones a cero.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

***ANEJO 2. ESTADO ACTUAL DE LAS  
OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE  
VILLAJYOYOSA***

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO DE VILLOJOYOSA</b> .....	<b>4</b>
2.1.- Ubicación .....	4
2.2.- Usos del puerto .....	5
2.3.- Actuaciones y antecedentes.....	6
<b>3.- ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO</b> .....	<b>7</b>
3.1.- Dique tramo 1.....	8
3.2.- Dique tramo 2.....	9
3.3.- Dique tramo 3.....	10
3.4.- Contradique.....	12
<b>4.- MODOS DE FALLO DE LAS OBRAS DE ABRIGO</b> .....	<b>13</b>
<b>5.- BATIMETRÍA</b> .....	<b>14</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se va a exponer toda la información que hace referencia al puerto de Villajoyosa. Se va a ubicar el puerto dentro de la Comunidad Valenciana, se realizará una descripción del puerto así como sus usos y los distintos componentes que lo conforman. Por otro lado se analizará con detalle las secciones constructivas del dique y contradique del puerto además de todas las remodelaciones y reformas que ha sufrido el puerto desde su creación.

El puerto de Villajoyosa ha sufrido varias averías a lo largo de su historia, en el último apartado de este anejo se analizarán los posibles modos de fallo que pueden sufrir las obras de abrigo de este puerto. Para posteriormente estudiar como afectaría el nuevo clima marítimo debido al cambio climático en las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa. Este análisis aparece detallado en “Anejo 5. Estudio de soluciones para la adaptación de las obras de abrigo”.

## 2.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO DE VILLAJOYOSA

### 2.1.- Ubicación

El puerto de Villajoyosa se encuentra en el municipio de La Vila Joiosa, dentro de la Comunidad Valenciana en la provincia de Alicante, al sureste de la Península Ibérica. Se trata de la capital de la Marina Baja, donde se encuentra la Costa Blanca.

El puerto de Villajoyosa es un puerto de especial importancia para esta zona del litoral dada su proximidad a la ciudad de Benidorm y otros pueblos del interior alicantino.



Imagen 1. Ubicación de la Comunidad Valenciana en la Península Ibérica. (Fuente: Wikipedia)



Imagen 2. Ubicación de la Marina Baja. (Fuente: Consejería de Agricultura)

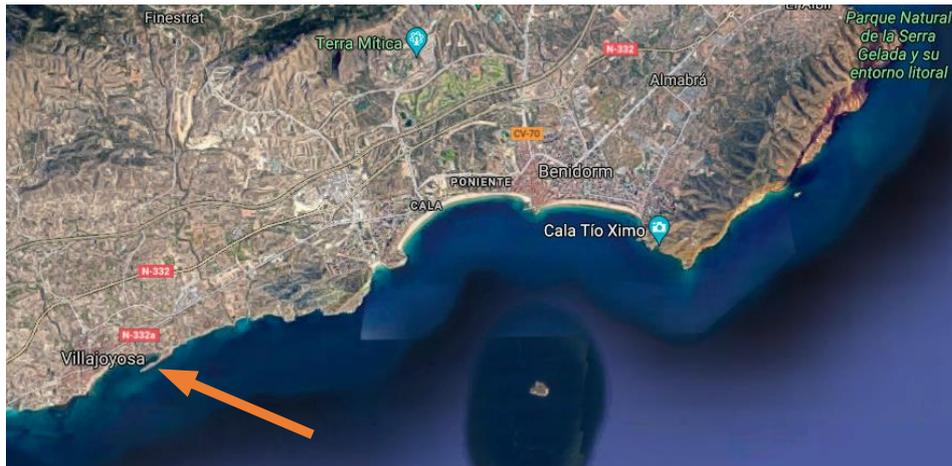


Imagen 3. Localización del puerto de Villajoyosa. (Fuente: Google Maps)



Imagen 4. Ubicación del puerto en el plano del municipio. (Fuente: Google Earth)

El puerto de Villajoyosa se encuentra en las siguientes coordenadas:

- Latitud: 38° 30' 30'' N
- Longitud: 0° 14' 00'' W

## 2.2.- Usos del puerto

El puerto de Villajoyosa se construyó en 1936, en sus inicios era únicamente de uso pesquero, ya que apenas existía lo que hoy se conoce como dique de Levante.

A partir de la construcción de nuevos pantalanés, la ampliación del dique de Levante y el contradique, los usos del puerto se modificaron y ampliaron. El puerto actualmente es considerado de tipo recreativo y pesquero.

Al abrigo del dique de Levante se encuentra el muelle pesquero, con unos 350 metros lineales que permiten realizar con comodidad las operaciones de carga y descarga de los barcos abarloados en el muelle.

En cuanto a la parte recreativa, el puerto de la Villajoyosa cuenta con 600 puntos de amarre distribuidos por nueve muelles. La totalidad de los puntos son del tipo amarre a muerto. De los 600 puntos de amarre que posee el puerto de la Villajoyosa, 330 son amarres deportivos en concesión y los 270 restantes son de gestión directa.

El puerto de Villajoyosa cuenta con un importante club náutico en el que se realizan todo tipo de actividades tanto deportivas como culturales y de ocio. El club cuenta con escuela de vela, remo, buceo, piragüismo y pesca deportiva entre otras.

En cuanto a la pesca el puerto de Villajoyosa cuenta con una gran actividad pesquera al abrigo del dique de Levante, con una importante lonja donde la Cofradía de Pescadores de Villajoyosa pone a la venta el producto que ha sido capturado previamente por las treinta y ocho embarcaciones que forman la cofradía. Del total de las embarcaciones treinta realizan pesca de arrastre y ocho al trasmallo. El pasado año 2020 la Cofradía de Pescadores de Villajoyosa movió más de 7.900 toneladas de pescado, convirtiendo la actividad pesquera de este puerto en un referente dentro de la provincia de Alicante.

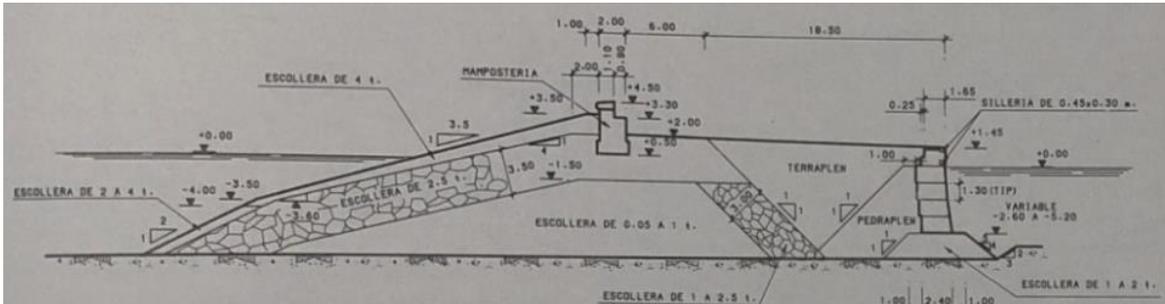
### 2.3.- Actuaciones y antecedentes

---

Desde su construcción en el año 1936 el puerto de Villajoyosa ha sufrido varias averías y posterior reparaciones así como importantes ampliaciones especialmente en el dique de Levante, el dique rompeolas que se encuentra paralelo a la línea de costa. En este apartado se van a citar todas las actuaciones que se han llevado a cabo en las obras de abrigo a lo largo de su historia de manera cronológica. En primer lugar se hablará de las actuaciones que se han llevado a cabo en el dique de Levante y posteriormente del contradique

El dique de Levante del puerto de Villajoyosa es una obra de abrigo en talud con espaldón que se puede dividir en tres partes, cada una de ellas es la ampliación del tramo anterior. El dique cuenta con una longitud total de 515 metros que junto con el contradique contribuye a que el puerto cuente con más de 100.000 m<sup>2</sup> de agua abrigada. El inicio de las obras data de 1923 pero no fue hasta 1936 que el dique de Levante quedó construido por completo, esto se debe a que las tres canteras más próximas agotaron su material. Desde 1936 hasta 1954 la primera alineación del dique de Levante se comportó aceptablemente, sin embargo en 1954 se opta por reforzar la sección con un manto de escollera de 4 toneladas y un talud de 3,5/1, esta medida se llevó a cabo de manera preventiva ya que la obra primitiva apenas había sufrido desgaste. El refuerzo de la sección resistió sin problemas hasta 1965, ya que un temporal proveniente del sureste generó olas de 5,5 metros, casi un metro más altas que para las que se había diseñado originariamente el dique (4,59 metros). El temporal produjo la desaparición de gran parte de la escollera del manto principal dejando al descubierto el paramento

exterior del espaldón. El manto se reparó posteriormente, la reparación consistió en la colocación de un nuevo manto de escollera de 7 toneladas con el mismo talud de 3,5/1, se colocó directamente sobre la sección averiada además se amplió la cota del espaldón hasta + 8,25 metros. Gracias a la elevación del espaldón dejaron de producirse los rebases que se producían anteriormente causados por los temporales. Las obras de reparación finalizaron en 1969 y desde entonces hasta hoy no se han producido más averías en el dique de Levante.

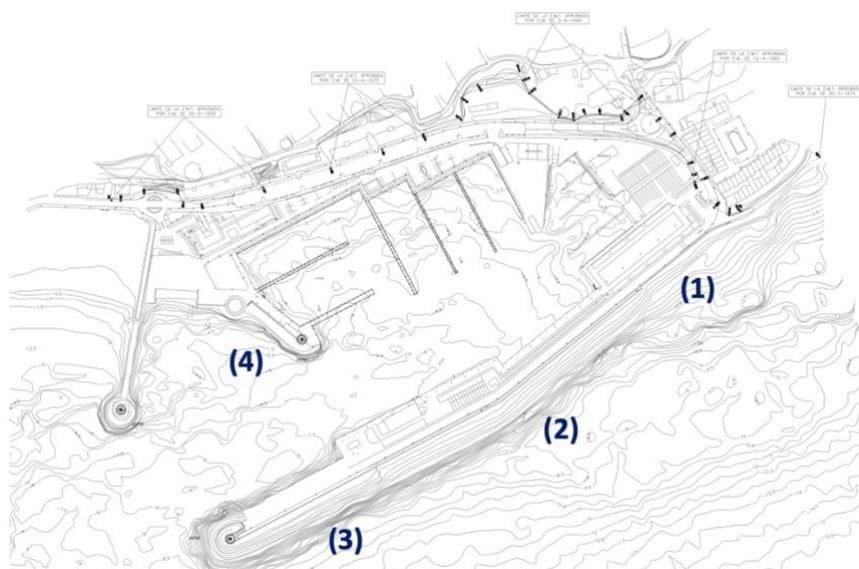


**Imagen 5. Refuerzo de 1954 previo al temporal de 1965. (Fuente: Obras de abrigo del Levante)**

En cuanto al contradique del puerto de Villajoyosa no se han registrado averías a lo largo de su historia desde su construcción en 1962. Gracias al dique semisumergido que protege la playa del Varadero, el contradique se encuentra sobreprotegido y apenas se producen rebases con temporales puntuales.

### 3.- ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO

En el siguiente apartado se va a describir con detalle las secciones que conforman las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa, se describirá el dique de Levante, dividido en tres tramos, y el contradique.



- (1) DIQUE TRAMO 1**
- (2) DIQUE TRAMO 2**
- (3) DIQUE TRAMO 3**
- (4) CONTRADIQUE**

**Imagen 6. Ubicación de las obras de abrigo en el puerto de Villajoyosa. (Fuente: Consejería de Política Territorial)**

### 3.1.- Dique tramo 1

El tramo 1 del dique de Levante tiene una longitud de 184 metros, es la primera sección construida del puerto de Villajoyosa, se encuentra sobre el antiguo dique primitivo. Como se verá en la próxima imagen, se trata de un dique en talud con espaldón que corona a la cota + 8,25 metros.

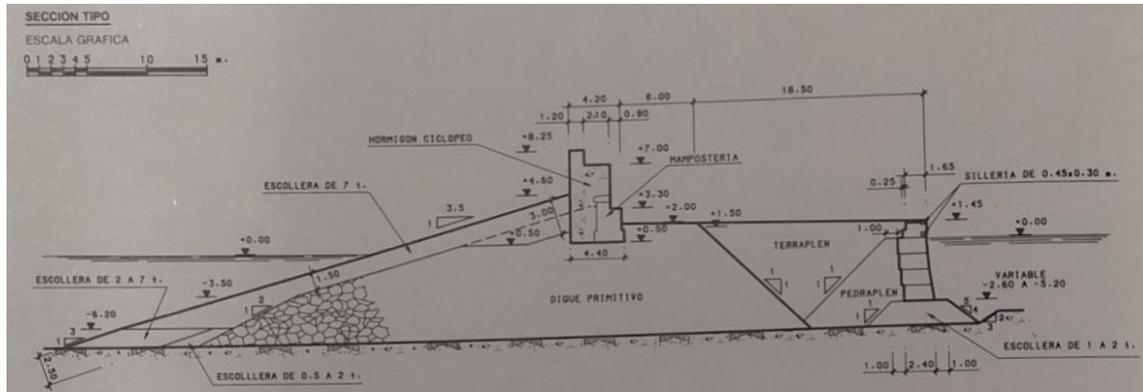


Imagen 7. Sección del tramo 1 del dique de Levante. (Fuente: )

El tramo 1 del dique de Levante (imagen 7) está constituido por:

- **Núcleo:** Se conserva el núcleo de la sección primitiva del antiguo dique. La sección primitiva estaba compuesta por un núcleo de escollera de peso variable entre 0,05 y 1 t. con un talud exterior de 4/1 y un talud interior 1/1. La cota de coronación del núcleo se encuentra a -1,50 m.
- **Berma:** Antes del temporal registrado en enero de 1965, el tramo 1 del dique poseía una berma a la cota +3,50 m con un talud de 1/2 y con 1 metro de ancho. Con la reparación de 1969 se suprimió este elemento del manto.
- **Manto interior:** El manto interior está compuesto por escollera con un peso entre 1 y 2,50 toneladas, con un talud de 1/1, el manto tiene un espesor de 3 metros y está compuesto por 4 capas.
- **Mantos secundarios:** Tras las averías producidas en 1965, se colocó un refuerzo de escollera sobre los restos del dique averiado, reperfilándolos y manteniendo el talud inicial de 3,5/1.
- **Manto principal:** El manto principal está compuesto por escollera de 7 toneladas y con un peso específico de 2,6 t/m<sup>3</sup>. El talud es de 7/2, el mismo que para los mantos secundarios, el cual comienza en la cota -6,20 m y corona en la +4,60 m, siendo la cota +0,00 el Nivel Medio del Mar en Alicante. El manto está compuesto por varias capas y tiene un espesor de 1,50 metros.
- **Espaldón:** El espaldón del tramo 1 del dique de Levante es mampostería con hormigón en masa. La cimentación de éste se encuentra a la cota +0,50 m, tiene

un ancho de 4,40 m y corona a la cota +8,25 m con un ancho en coronación de 1,20 m. El espaldón carece de botaolas.

Tanto el tramo 1 como el tramo 2 del dique de Levante se calcularon para una altura de ola de 6,16 metros, la cual se obtuvo como resultado de mayorar la altura registrada en el temporal de 1965 donde se alcanzaron los 5,50 metros. Para la obtención de la ola de calculo se obtuvo un resultado de 6,91 m en aguas profundas y de 5,50 m a pie de obra, la dirección del oleaje era Este y era generada por un fecht de 1.100 Km.

### 3.2.- Dique tramo 2

El tramo 2 del dique de Levante posee unas características que lo hacen muy similar al tramo 1. Este tramo posee una longitud de 150 metros y se trata de un dique de escollera en talud y con espaldón. Las obras de este tramo finalizaron en 1962 pero al igual que el tramo 1, en 1965 el dique sufrió varias averías en el manto principal y se repararon hasta que en 1969 finalizan las obras de reparación tanto del tramo 1 como del tramo 2 del dique del puerto.

Al igual que el tramo 1 ,tras el temporal de 1965 y las posteriores reparaciones, el espaldón de este fragmento del dique de Levante corona a la cota +8,25 m ya que antes de esta reforma se producían importantes rebases.

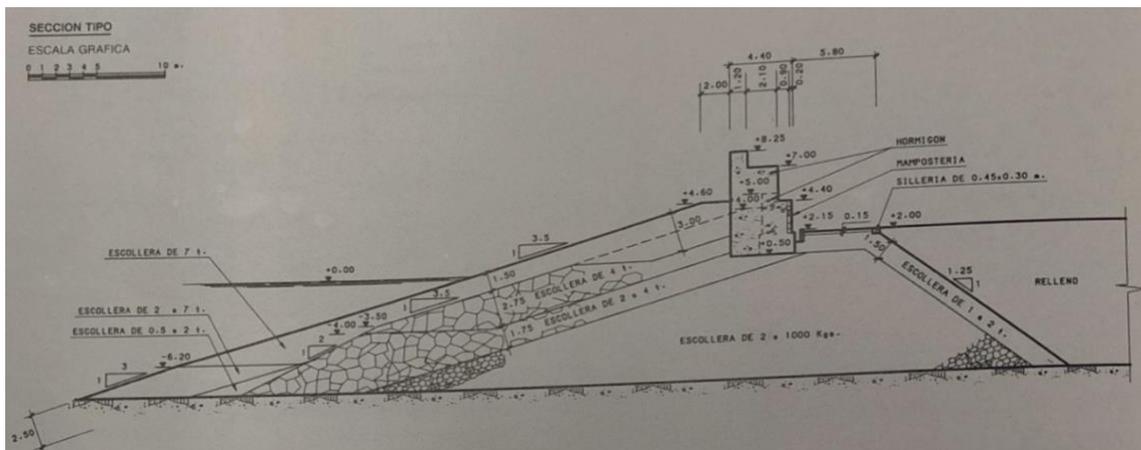


Imagen 8. Sección del tramo 2 del dique de Levante. (Fuente: )

El tramo 2 del dique de Levante (imagen 8) está constituido por:

- **Núcleo:** Se conserva el núcleo de la sección primitiva del antiguo dique. La sección primitiva estaba compuesta por un núcleo de escollera de peso variable entre 0,002 y 1 t. con un talud exterior de 7/2 y un talud interior de 5/4, la cota de coronación del núcleo se encuentra a +0,50 m.
- **Berma:** El tramo e del dique posee una berma a la cota +4,60 m con un talud de 1/2 y con 2 metros de ancho.

- Manto interior: El manto interior está compuesto por escollera con un peso entre 1 y 2 toneladas, con un talud de 5/4, el manto tiene un espesor de 1,50 metros y está compuesto por 2 capas.
- Mantos secundarios: El manto secundario tiene un espesor de 1,75 m y está compuesto por 2 capas. Es un manto de escollera con un peso variable entre 2 y 4 toneladas, posee un talud de 7/2.
- Manto principal: El manto principal está compuesto por escollera de 7 toneladas y con un peso específico de 2,6 t/m<sup>3</sup>. El talud es de 7/2, el mismo que para los mantos secundarios, el cual comienza en la cota -6,20 m y corona en la +4,60 m, siendo la cota +0,00 el Nivel Medio del Mar en Alicante. El manto está compuesto por varias capas y tiene un espesor de 1,50 metros.
- Espaldón: El espaldón del tramo 2 del dique de Levante es mampostería con hormigón en masa. La cimentación de éste se encuentra a la cota +0,50 m, tiene un ancho de 4,40 m y corona a la cota +8,25 m con un ancho en coronación de 1,20 m. El espaldón carece de botaolas.

### 3.3.- Dique tramo 3

Es el tramo más reciente, ya que en 2003 finalizaron sus obras. Tiene una longitud de 180 metros, posee una sección en talud con espaldón que corona a la cota +8,25 metros. Las características de este tramo son las mismas que las del tramo dos, la única diferencia entre estos dos tramos es que el tramo 3 posee una capa extra en el manto formada por bloques de hormigón de 2 x 2 x 2,75 metros, es decir de 11 m<sup>3</sup>. Las mediciones de este tramo se han realizado en la propia obra. Por otro lado el espaldón corona a la cota +8,25 metros, como ya se ha comentado, pero a diferencia del tramo 2 el espaldón en este fragmento del dique tiene una anchura en coronación de 0,60 metros.

Luego el tramo 3 del dique de Levante (imagen 9) está constituido por:

- Núcleo: Se conserva el núcleo de la sección primitiva del antiguo dique. La sección primitiva estaba compuesta por un núcleo de escollera de peso variable entre 0,002 y 1 t. con un talud exterior de 7/2 y un talud interior de 5/4, la cota de coronación del núcleo se encuentra a +0,50 m.
- Berma: El tramo e del dique posee una berma a la cota +4,60 m con un talud de 1/2 y con 2 metros de ancho.
- Manto interior: El manto interior está compuesto por escollera con un peso entre 1 y 2 toneladas, con un talud de 5/4, el manto tiene un espesor de 1,50 metros y está compuesto por 2 capas.

- Mantos secundarios: El manto secundario tiene un espesor de 1,75 m y está compuesto por 2 capas. Es un manto de escollera con un peso variable entre 2 y 4 toneladas, posee un talud de 7/2.
- Manto principal: El manto principal está compuesto por bloques de hormigón de dimensiones 2 x 2 x 2,75 metros y con un peso específico de 2,4 t/m<sup>3</sup>. El talud es de 7/2, el mismo que para los mantos secundarios, el cual comienza en la cota -6,20 m y corona en la +4,60 m, siendo la cota +0,00 el Nivel Medio del Mar en Alicante. El manto está compuesto por varias capas y tiene un espesor de 1,50 metros.
- Espaldón: El espaldón del tramo 3 del dique de Levante es mampostería con hormigón en masa. La cimentación de éste se encuentra a la cota +0,50 m, tiene un ancho de 4,40 m y corona a la cota +8,25 m con un ancho en coronación de 0,60 m. El espaldón carece de botaolas.

En la siguiente imagen se muestra el cambio entre el tramo 2 y el tramo 3 del dique de Levante, así como los distintos materiales que forman el manto más superficial para cada tramo. También es apreciable la diferencia del ancho del espaldón en coronación para los dos tramos.

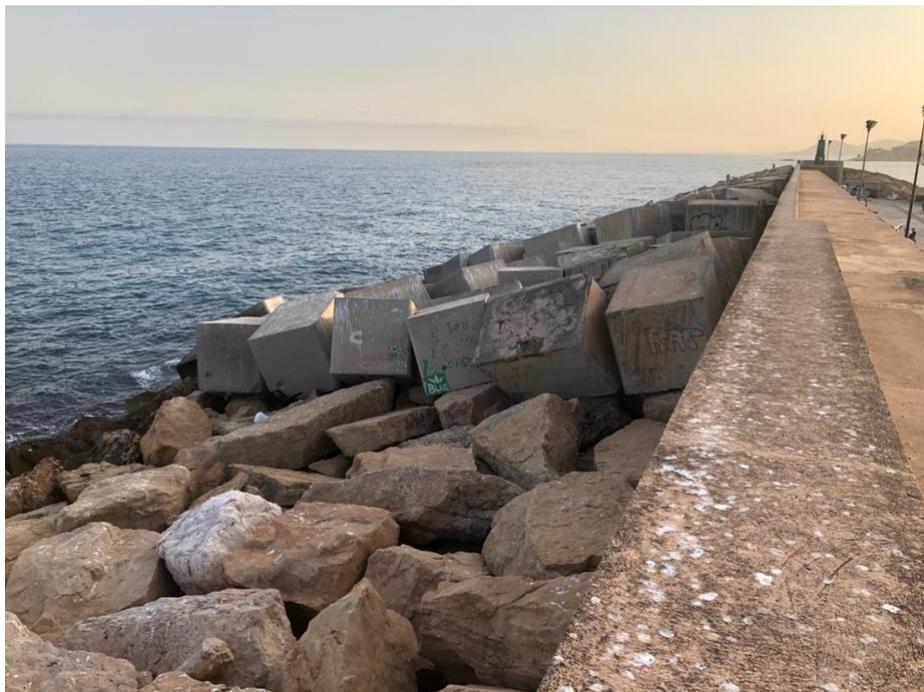


Imagen 9. Unión del tramo 2 con el tramo 3 en el dique de Levante. (Fuente: Foto realizada en obra)

En cuanto a las profundidades máximas a pie de dique son las siguientes:

- Tramo 1: 8,00 metros.
- Tramo 2: 11,00 metros.
- Tramo 3: 11,00 metros.

### 3.4.- Contradique

El contradique del puerto de la Villajoyosa fue construido en 1962 y a pesar de que no se ha registrado ninguna avería desde su creación sí se producen ciertos rebases en los grandes temporales.

El contradique del puerto tiene una longitud de 174 metros de los cuales solo 72 metros están expuestos al impacto del oleaje y al rebase de éste.

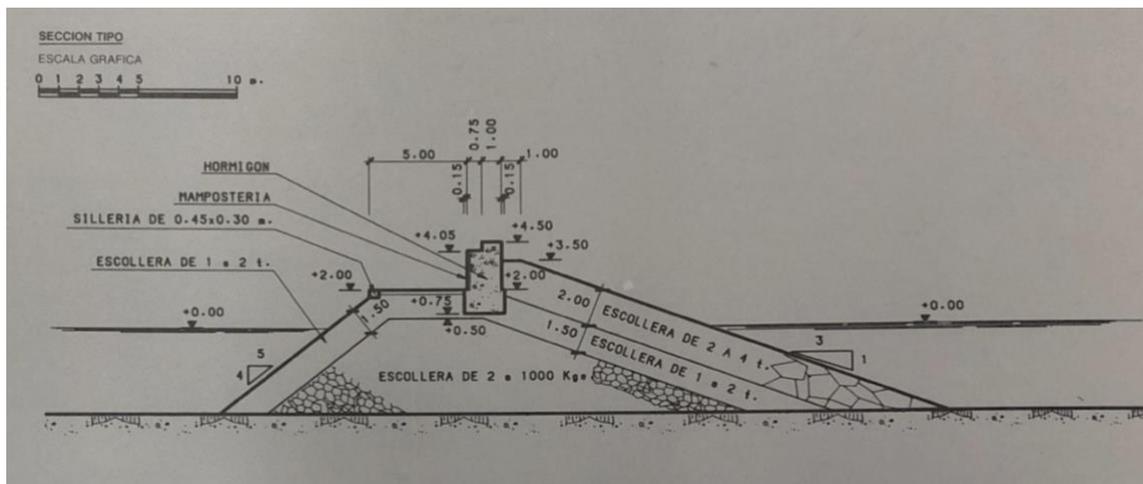


Imagen 10. Sección del contradique del puerto de Villajoyosa. (Fuente: )

Los 72 metros de contradique expuestos (imagen 10) están formados por:

- **Núcleo:** Se trata de un núcleo de escollera de peso variable entre 0,002 y 1 t. con un talud exterior de 3/1 y un talud interior de 5/4, la cota de coronación del núcleo se encuentra a +0,50 m.
- **Berma:** El contradique posee una berma a la cota +3,50 m y de 2 metros de ancho.
- **Manto interior:** El manto interior está compuesto por escollera con un peso entre 1 y 2 toneladas, con un talud de 5/4, el manto tiene un espesor de 1,50 metros y está compuesto por 2 capas.
- **Mantos secundarios:** El manto secundario tiene un espesor de 1,50 m y está compuesto por 2 capas. Es un manto de escollera con un peso variable entre 1 y 2 toneladas, posee un talud de 3/1.
- **Manto principal:** El manto principal está compuesto por escollera de 2 a 4 toneladas y con un peso específico de  $2,70 \text{ t/m}^3$ . El talud es de 3/1. El manto está compuesto por 2 capas y tiene un espesor de 2 metros.
- **Espaldón:** El espaldón del contradique es de hormigón en masa. La cimentación de éste se encuentra a la cota +0,75 m con un ancho de 2,05 m y corona a la cota

+4,50 m con un ancho en coronación de 1,00 m. El espaldón no dispone de botaolas.

#### 4.- MODOS DE FALLO DE LAS OBRAS DE ABRIGO

Los posibles modos de fallo que se van a estudiar de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa, son los siguientes:

- Rebase del espaldón.
- Inestabilidad del espaldón (rotura o deslizamiento).
- Erosión de la berma de pie.
- Rotura o erosión del manto principal debido a elevadas alturas de ola.
- Asentamiento del terreno.

Cabe destacar que el puerto de la Villajoyosa ha sufrido varias remodelaciones desde la construcción del dique de Levante en 1936, los mayores problemas que sufrían las obras de abrigo del puerto era el rebase del espaldón durante los temporales.

El “Anejo 5: Estudio de soluciones para la adaptación de las obras de abrigo” contiene el análisis de los posibles modos de fallo que pueden sufrir las obras de abrigo del puerto. Tras el estudio del cambio climático y su influencia en el clima marítimo actual se obtienen los modos de rotura que afectan especialmente al dique de Levante debido a su posición paralela a la línea de costa.

Los modos de fallo más probables en un dique en talud se muestran en la imagen 11. Dado que en el puerto de Villajoyosa se tienen registros de rebase desde su creación en 1936 el problema de que el oleaje sobrepase el espaldón es uno de los más probables que esta obra puede sufrir. Un rebase del espaldón puede producir inestabilidades en él debido a fuerzas verticales y horizontales que causarían el vuelco de este elemento, además del daño que producirían en el interior del puerto. Otro posible modo de rotura del dique de Levante consiste en que el manto del dique pierda estabilidad en el caso de que las nuevas alturas de ola sean superiores a las de cálculo. Que el nivel del mar suba en el Mediterráneo puede provocar que las olas no rompan al llegar al dique y éste sea sobrepasado por ellas especialmente en época de grandes temporales.

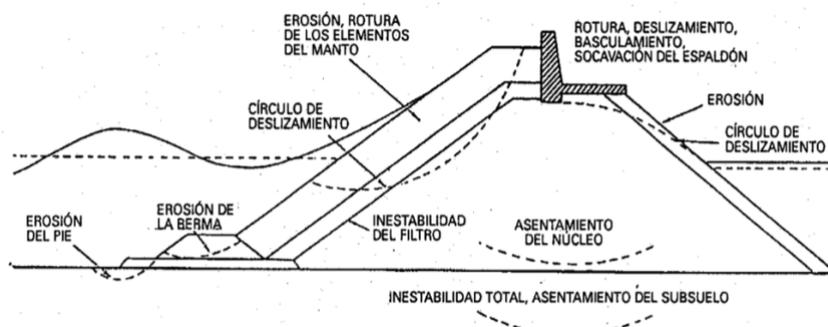


Imagen 11. Modos de rotura de un dique en talud. (Fuente: Temario asignatura Obras Marítimas)

## 5.- BATIMETRÍA

Los calados en el interior de la dársena del puerto de Villajoyosa varían desde los 6 metros hasta el metro de profundidad, con un calado en la bocana de 6,3 metros.

En relación al muelle pesquero, el calado máximo es de aproximadamente unos 5 metros.

Los muelles recreativos tienen un calado máximo de 3 metros en los de tipo gestión directa, mientras que los amarres en concesión admiten un calado máximo de 4,5 metros.

Los datos de batimetría se han obtenido mediante la aplicación de Navionics y el mapa del puerto facilitado por la Consejería de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad.

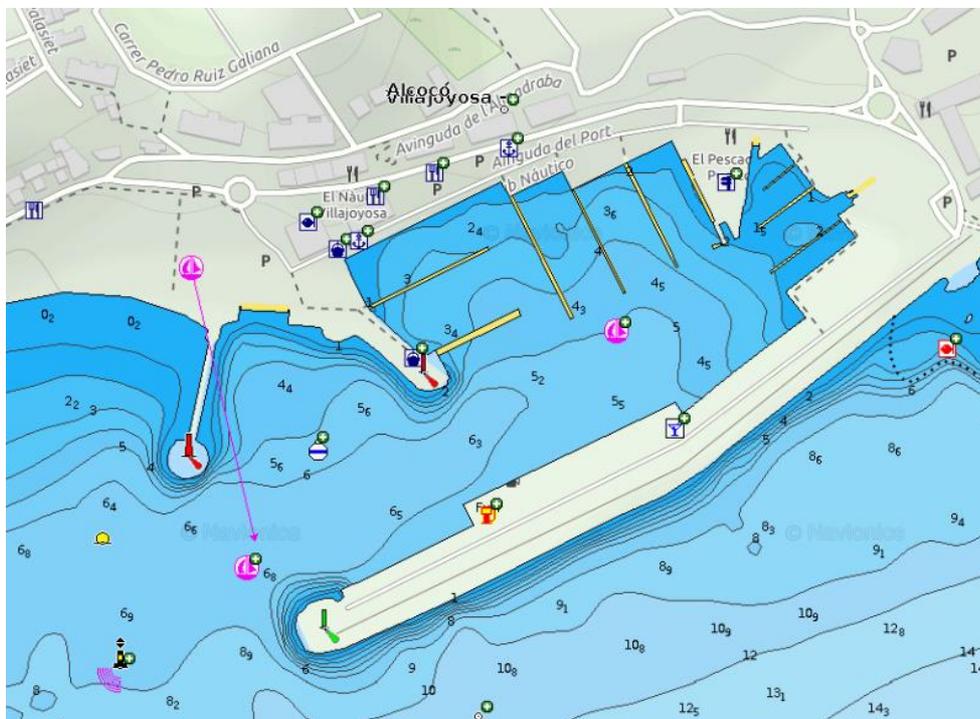


Imagen 12. Batimetría del puerto de Villajoyosa. (Fuente: Navionics)

Las profundidades máximas a pie de dique y contradique son las siguientes:

- Tramo 1: 8,00 metros.
- Tramo 2: 11,00 metros.
- Tramo 3: 11,00 metros.
- Contradique: 8,00 metros.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

## *ANEJO 3. CLIMA MARÍTIMO*

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA (ALICANTE)**



## ÍNDICE

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.- LOCALIZACIÓN DE LA BOYA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.- BASE DE DATOS</b> .....	<b>5</b>
3.1.- Boya de Cabo de Palos .....	5
3.2.- Mareógrafo de Gandía .....	6
3.3.- Punto SIMAR2083102 .....	6
<b>4.- NIVEL DEL MAR</b> .....	<b>7</b>
<b>5.- RÉGIMEN DE VIENTOS</b> .....	<b>8</b>
<b>6.- RÉGIMEN MEDIO</b> .....	<b>10</b>
6.1.- Dirección del oleaje .....	10
6.2.- Altura de ola significativa .....	11
6.3.- Periodo pico del oleaje.....	14
<b>7.- RÉGIMEN EXTREMAL</b> .....	<b>15</b>
7.1.- Dirección del oleaje .....	15
7.2.- Altura de ola significativa .....	16
7.3.- Periodo pico del oleaje.....	17
<b>8.- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE</b> .....	<b>17</b>
8.1.- Descripción.....	17
8.2.- Régimen Medio .....	19
8.3.- Régimen Extremal.....	19
<b>9.- CORRIENTES</b> .....	<b>19</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se va a describir con detalle el clima marítimo actual que afecta al puerto de Villajoyosa. Para realizar el análisis del clima marítimo se ha tomado como base de datos la web de Puertos del Estado, de ella se ha obtenido información de la boya de Cabo de Palos, del mareógrafo de Gandía y del Punto SIMAR2083102.

El objeto de este anejo es el de analizar las alturas de ola, direcciones y vientos que se producen actualmente en las obras de abrigo del puerto, para posteriormente compararlo con los posibles nuevos escenarios que genera el cambio climático.

## 2.- LOCALIZACIÓN DE LA BOYA

Los datos de régimen medio y extremal se han obtenido a partir de la boya de Cabo de Palos. Se ha descartado la boya de Alicante, a pesar de encontrarse más cercana a Villajoyosa, debido a que ésta se encuentra en aguas someras.

La boya de Cabo de Palos se encuentra una profundidad de 230 metros y estas son sus coordenadas:

- Latitud: 37,651 N
- Longitud: - 0,327 E



Imagen 1. Ubicación de la boya de Cabo de Palos y del puerto de Villajoyosa. (Fuente: Puertos del Estado)

### 3.- BASE DE DATOS

En este anejo de clima marítimo se ha recurrido a la web de Puertos del Estado para obtener la información necesaria. Los datos se han obtenido de los siguientes tres puntos:

- Boya de Cabo de Palos.
- Mareógrafo de Gandía.
- Punto SIMAR2083102

#### 3.1.- Boya de Cabo de Palos

La boya de Cabo de Palos pertenece a la Red de Boyas de Aguas Profundas (Red Exterior) de Puertos del Estado, se trata de una boya tipo “Sea Watch”.

La boya está compuesta por una serie de sensores que recogen tres parámetros: oleaje, atmósfera y océano. A partir de estos datos la propia boya calcula la velocidad media del viento, o la altura significativa de ola.

Los agentes observados por la boya son el oleaje, la velocidad del viento, velocidad de corriente, temperatura del aire, temperatura del agua, presión del aire y salinidad del agua.

Boya de Cabo de Palos	
Acceso a datos	Información
Longitud	0.31° O
Latitud	37.65° N
Cadencia	60 Min
Código	2610
Profundidad	230 m
Inicio de medidas	18-7-2006
Última medida	31-7-2021
Tipo de sensor	Direccional Oce-Met
Modelo	SeaWatch
Conjunto de datos	<a href="#">REDEXT</a>



Imagen 1. Información de la boya de Cabo de Palos. (Fuente: Puertos del Estado)

### 3.2.- Mareógrafo de Gandía

El mareógrafo usado para este anejo se encuentra en el puerto de Gandía, concretamente a unos 200 metros del Muelle Sur. Se ha escogido este mareógrafo en lugar del ubicado en el puerto de Alicante ya que éste último descarta mareas apreciables.



Imagen 2. Esquema de mareógrafo REDMAR de Gandía. (Fuente: Puertos del Estado)

El mareógrafo de Gandía pertenece al conjunto de datos REDMAR cuya principal objetivo es el de medir, analizar, grabar y almacenar de forma continua como se encuentra el nivel del mar en el puerto de Gandía a tiempo real.

Los datos obtenidos a partir del mareógrafo de Gandía servirán para estudiar el nivel del mar en el puerto de Villajoyosa además de la posible carrera de marea que pueda acontecer en esta parte del mar Mediterráneo.

### 3.3.- Punto SIMAR2083102

El Punto SIMAR2083102 se encuentra próximo al puerto de Villajoyosa, se han utilizado los datos proporcionados por la web de Puertos del Estado para analizar el régimen de vientos, así como sus direcciones y velocidades medias. En la imagen 5 se muestra la ubicación del Punto SIMAR2083102 con respecto a la del puerto de Villajoyosa.



Imagen 4. Ubicación del punto SIMAR2083102 y del puerto de Villajoyosa. (Fuente: Puertos del Estado)

## 4.- NIVEL DEL MAR

La obtención del nivel medio del mar se ha obtenido a partir del mareógrafo de Gandía, a través de la web de Puertos del Estado.

El nivel del mar varía en función de las mareas, existen dos tipos: marea astronómica y marea meteorológica, la cual depende de las variaciones de presión atmosférica.

En este caso solo se tendrá en cuenta las variaciones debidas a la marea astronómica, el valor más alto de nivel registrado es el de 0,5 metros tomado en octubre de 2007 en el puerto de Gandía. Se usará este valor de sobreelevación de marea para hallar la ola de cálculo.

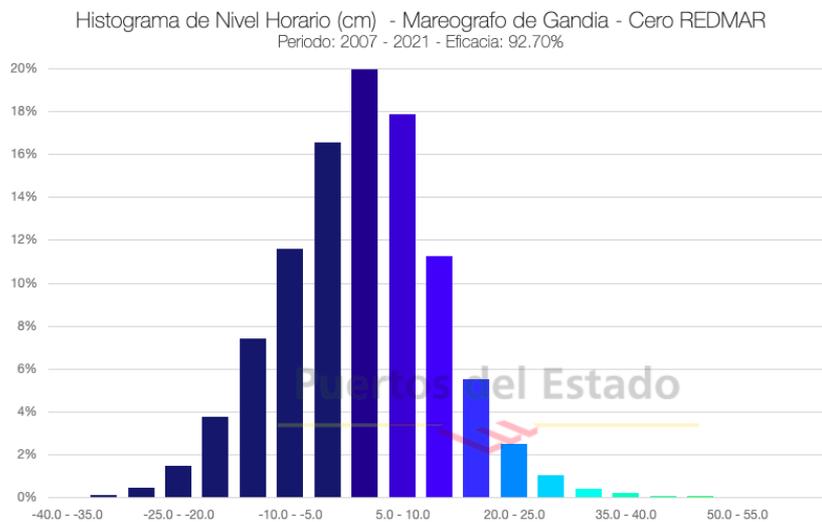


Imagen 5. Histograma de nivel de mar en Gandía. (Fuente: Puertos del Estado)

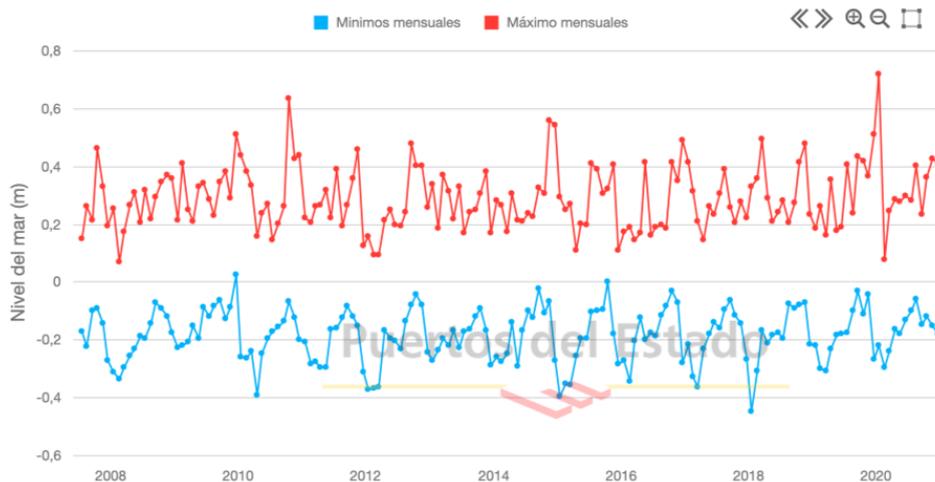


Imagen 6. Niveles máximos y mínimos del nivel del mar en Gandía. (Fuente: Puertos del Estado)

## 5.- RÉGIMEN DE VIENTOS

Uno de los principales factores en los que influye el viento es en la generación de oleaje. El viento es generado por los movimientos del aire que se desplazan de las zonas de bajas presiones a las de altas. El viento también actúa como generador de mareas meteorológicas ya que éste mueve las masas de agua modificando así las corrientes, cambiando su dirección y su fuerza.

Para estudiar la resistencia que pueden soportar las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa es imprescindible conocer el nivel del mar y la altura de ola de cálculo, sin embargo también es vital conocer la dirección del viento y del fecht más desfavorable que puede incidir en el puerto, esto es necesario ya que los mayores temporales tienen la dirección del fecht más extenso. El mayor temporal registrado en el puerto de Villajoyosa procedía del Este con un fecht de 1100 kilómetros.



Imagen 7. Fecht más largo en el puerto de Villajoyosa, dirección Este. (Fuente: Google Earth)

A partir de la información proporcionada por la web de Puertos del Estado, obtenemos la rosa de los vientos de tipo anual, mostrada en la siguiente imagen. En este caso se ha decidido obtener la información del régimen de vientos a partir del punto SIMAR2083102 dada la proximidad de este nodo al puerto de Villajoyosa.

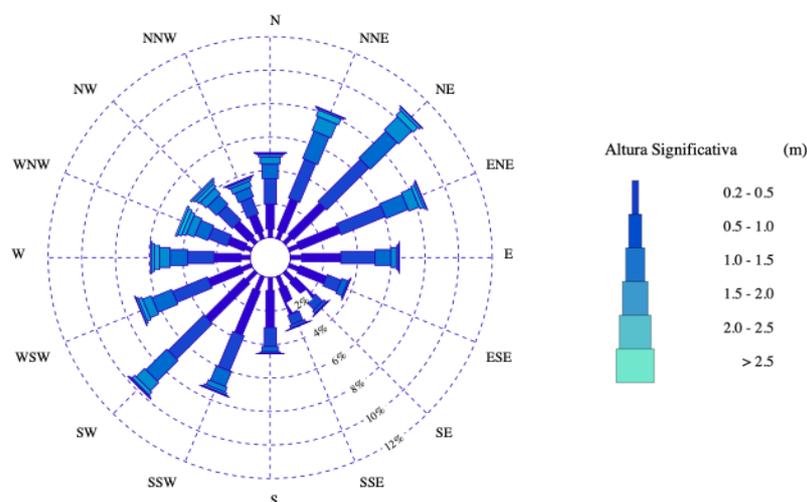


Imagen 8. Rosa de los vientos anual. (Fuente: Puertos del Estado)



## ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYOSA (ALICANTE)



Como se puede observar en la imagen 7, la dirección dominante del viento en velocidades más altas es Noreste. Sin embargo también existen altas velocidades de viento en las direcciones Este – Noroeste, Sur – Suroeste y Oeste – Suroeste. Cabe destacar que los temporales más importantes generados en el levante mediterráneo son los procedentes de direcciones Norte o Noreste, además del viento que puede llegar a alcanzar los 100 km/h además vienen acompañados de un fuerte oleaje. Sin embargo las rachas de viento más fuertes suelen tener componente Oeste.

El régimen de vientos que se produce en esta parte del litoral peninsular suelen tener marcados una cierta estacionalidad. Las épocas de frío suelen venir acompañadas de rachas que superan los 60 Km/h, de hecho la racha más alta registrada en esta zona se produjo en enero del año 2009 donde se registró una velocidad de 95 Km/h. Por otro lado la media para esta época del año es de unos 30 Km/h. En los meses de verano se suelen registrar los vientos más suaves en todo el año.

## 6.- RÉGIMEN MEDIO

El régimen medio se entiende como el estado más probable en el que nos podemos encontrar el oleaje. Para realizar el análisis del régimen medio del oleaje se ha acudido al informe proporcionado por Puertos del Estado, la boya de Cabo de Palos es la base de datos para este apartado.

### 6.1.- Dirección del oleaje

A partir de los datos obtenidos en el informe de régimen medio del punto SIMAR2083102 obtenemos la rosa de oleaje de tipo anual, en ella se puede observar como las direcciones predominantes son Este y Este – Sureste. Estas direcciones de oleaje se observan prácticamente durante todo el año a excepción de los meses de invierno donde la dirección predominante es la de Sur – Suroeste donde se alcanzan elevadas alturas de ola.

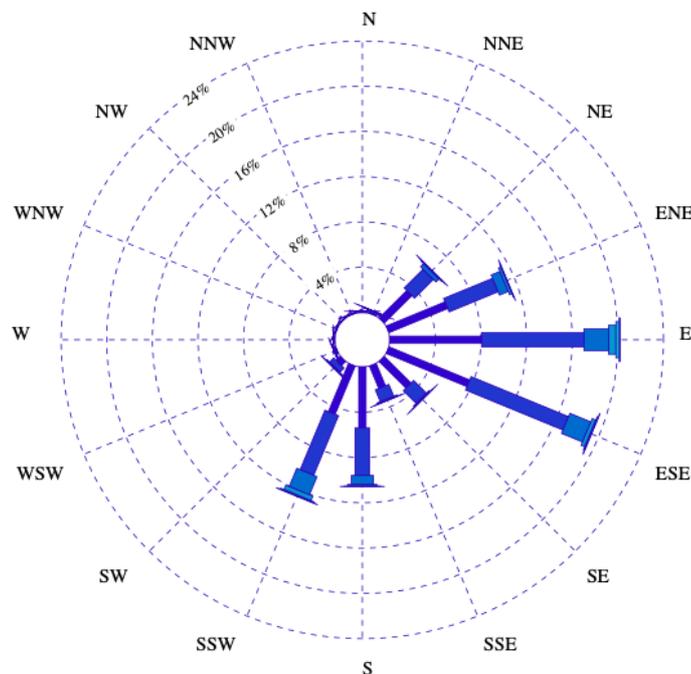


Imagen 9. Rosa de oleaje anual. (Fuente: Puertos del Estado)

La dirección predominante de Este y Sur – Este se produce especialmente en las estaciones de primavera, donde la altura de ola puede llegar a alcanzar valores de 2 y 2,50 metros especialmente cuando la dirección predominante es Este donde, como ya se menciona anteriormente, es la dirección donde se obtiene el fecht más largo.

## 6.2.- Altura de ola significativa

Para obtener la altura de ola significativa se ha recurrido al informe de régimen medio de Puertos del Estado para el punto SIMAR2083102. A partir de este informe, y analizando los datos estadísticos que se plantean, se obtiene la dirección más frecuente para las máximas alturas de ola.

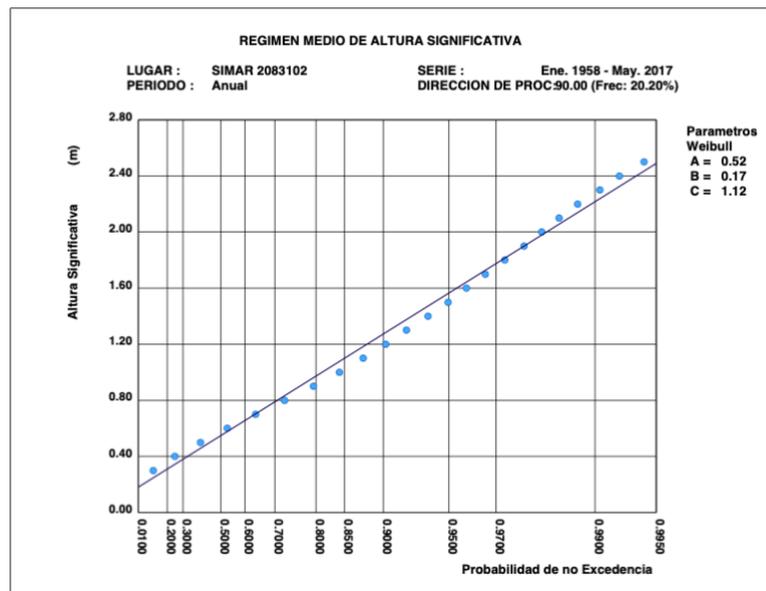
Dirección	Hs (m)												Total	
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0		
CALMAS	8.972													8.972
N 0.0		.050	.054	.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.118
NNE 22.5		.099	.166	.038	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	.314
NE 45.0		3.427	2.341	.380	.073	.019	.009	.004	-	-	-	-	-	6.253
ENE 67.5		5.571	4.647	.830	.220	.048	.017	.002	-	-	-	-	-	11.336
E 90.0		8.052	8.971	2.159	.653	.250	.088	.021	.008	-	-	-	-	20.202
ESE 112.5		7.658	9.237	1.983	.346	.088	.027	.014	.002	-	-	-	-	19.356
SE 135.0		3.326	1.578	.126	.018	.004	-	-	-	-	-	-	-	5.053
SSE 157.5		2.125	1.130	.119	.020	.005	-	-	-	-	-	-	-	3.399
S 180.0		5.396	4.190	.791	.148	.025	.012	.002	-	-	-	-	-	10.563
SSW 202.5		4.600	5.689	1.741	.417	.103	.025	.005	.001	-	-	-	-	12.580
SW 225.0		.508	.521	.093	.023	.002	-	-	-	-	-	-	-	1.147
WSW 247.5		.146	.098	.035	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	.283
W 270.0		.078	.057	.018	.006	-	-	-	-	-	-	-	-	.160
WNW 292.5		.043	.040	.021	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	.106
NW 315.0		.029	.030	.009	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	.071
NNW 337.5		.034	.040	.012	.001	-	-	-	-	-	-	-	-	.087
Total	8.972	41.144	38.788	8.368	1.943	.546	.177	.049	.013	-	-	-	-	100 %

**Tabla 1. Relación altura de ola significativa – dirección de procedencia en porcentaje.**  
(Fuente: Puertos del Estado)

Como ya se ha mencionado anteriormente las direcciones predominantes son Este y Este – Sureste con un porcentaje del 20,2% y 19,35% respectivamente, especialmente en las estaciones de primavera y verano. Por otro lado, en invierno suele ser predominante la dirección Sur – Suroeste y Sur, con un porcentaje del 12,58% y del 10,56% respectivamente.

Para las cuatro direcciones predominantes de oleaje se van a analizar las gráficas que relacionan las alturas de ola significativas con la probabilidad de no excedencia mediante los parámetros Weibull.

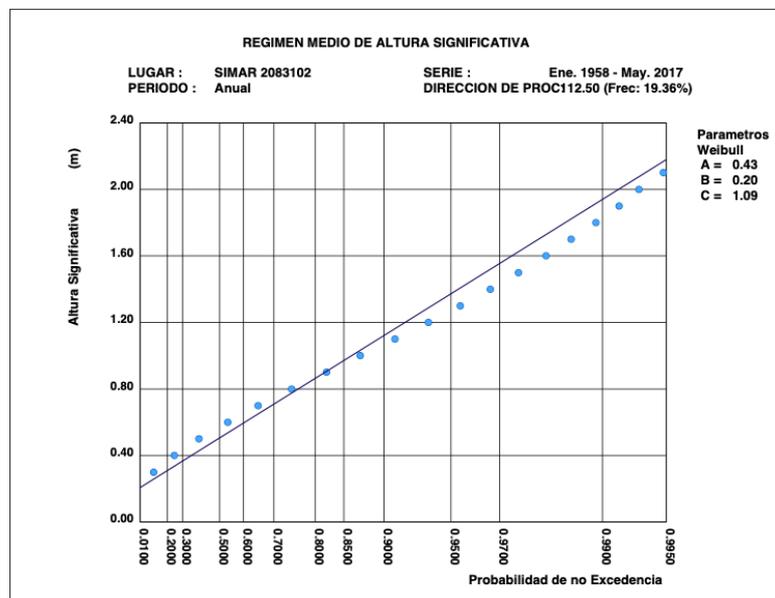
Para la dirección predominante **Este** se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 1. Régimen medio de Hs para dirección Este. (Fuente: Puertos del Estado)

A partir de la probabilidad de no excedencia del 99% se obtiene la altura de ola para este periodo. En este caso, como se representa en la gráfica 1, la altura de ola es de unos 2,20 metros.

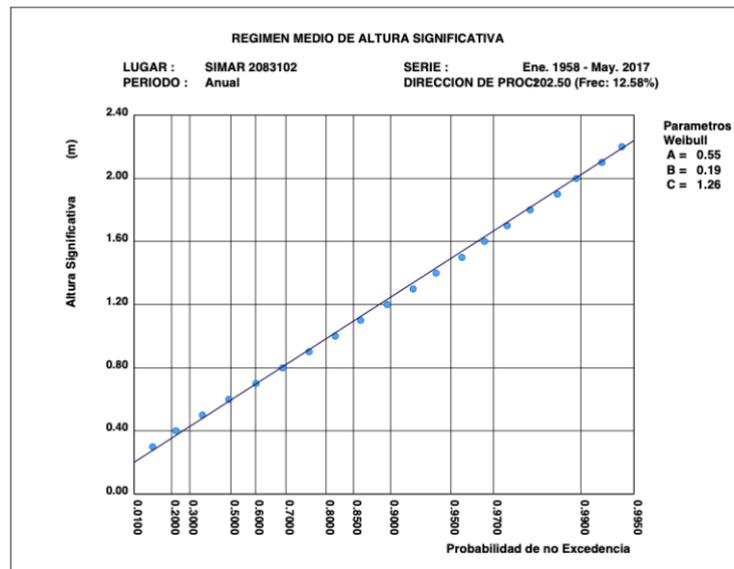
Para la dirección **Este – Sureste** se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 2. Régimen medio de Hs para dirección Este – Sureste. (Fuente: Puertos del Estado)

Para esta dirección, como se observa en la gráfica 2, atendiendo la probabilidad de no excedencia del 99%, se obtiene una altura de ola de 1,90 metros.

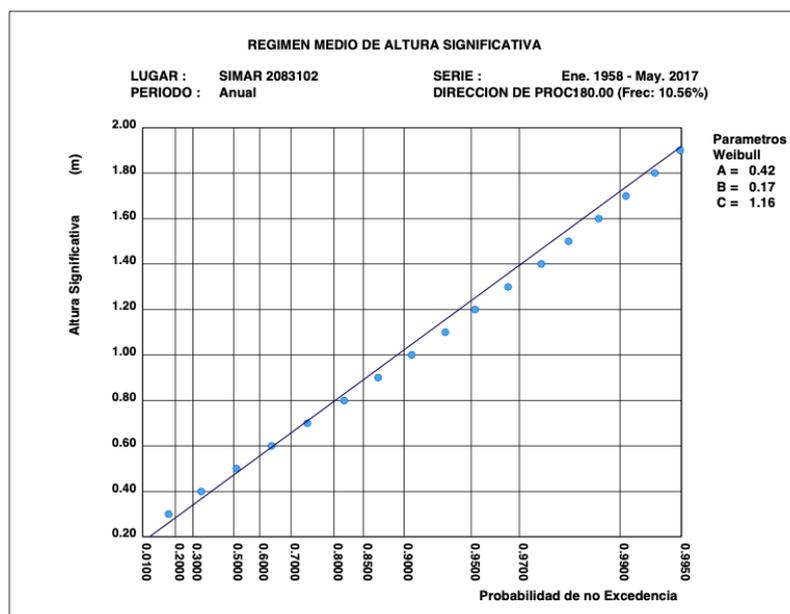
Para la dirección **Sur – Suroeste** se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 3. Régimen medio de Hs para dirección Sur – Suroeste. (Fuente: Puertos del Estado)

A partir de la probabilidad de no excedencia del 99% se obtiene la altura de ola para este periodo. En este caso, como se representa en la gráfica 3, la altura de ola es de unos 2,00 metros.

Para la dirección **Sur** se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 4. Régimen medio de Hs para dirección Sur. (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección Sur, como se observa en la gráfica 4, atendiendo la probabilidad de no excedencia del 99%, se obtiene una altura de ola de 1,70 metros.

### 6.3.- Periodo pico del oleaje

A partir del informe de régimen extremal de la boya de Cabo de Palos se extrae la siguiente fórmula para calcular el periodo pico del oleaje:

$$Tp = 4.76 Hs^{0.40}$$

Donde,

$Tp$  es el periodo pico del oleaje en segundos.

$Hs$  la altura de ola significativa para cada dirección predominante en metros.

Realizando los cálculos para las alturas de ola correspondientes a las direcciones predominantes se obtiene la siguiente tabla a modo de facilitar la comprensión de los periodos pico del oleaje.

Dirección	Hs (m)	Tp (Seg)
ESTE (90°)	2,20	6,52
ESTE – SURESTE (112,5°)	1,90	6,15
SUR – SUROESTE (202,5°)	2,00	6,28
SUR (180°)	1,70	5,88

Tabla 2. Periodo pico del oleaje para las direcciones predominantes

## 7.- RÉGIMEN EXTREMAL

El régimen extremal se entiende como el modelo estadístico que pretende describir la probabilidad de que un cierto temporal ocurra con una altura de riesgo. Se trata de una estimación donde los temporales superan ciertas alturas significantes de ola.

El estudio del régimen extremal se ha realizado a partir de la información que aporta el informe de Puertos del Estado para la boya de Cabo de Palos.

### 7.1.- Dirección del oleaje

A partir de los datos obtenidos en el informe de régimen extremal para la boya de Cabo de Palos obtenemos la siguiente rosa de altura significativa de ola de tipo anual, en ella se puede observar como las direcciones predominantes son Este y Noreste. Estas direcciones de oleaje se observan prácticamente durante todo el año a excepción de los meses de invierno donde la dirección predominante es la de Suroeste donde se alcanzan elevadas alturas de ola.

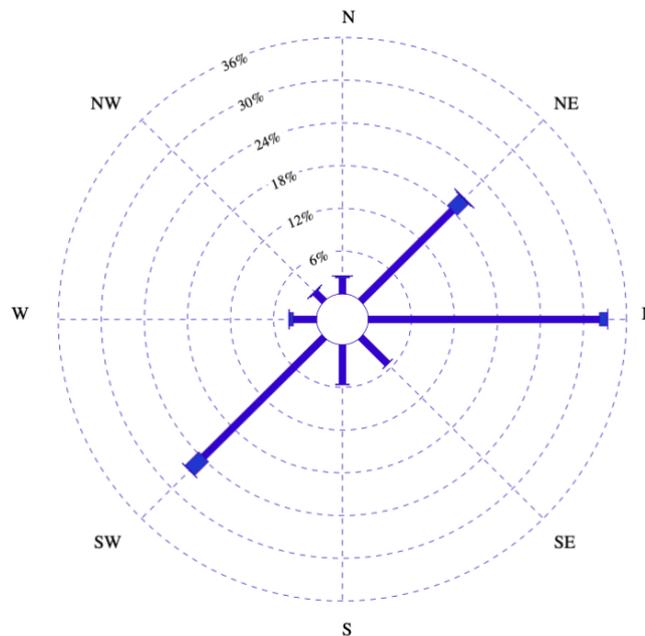
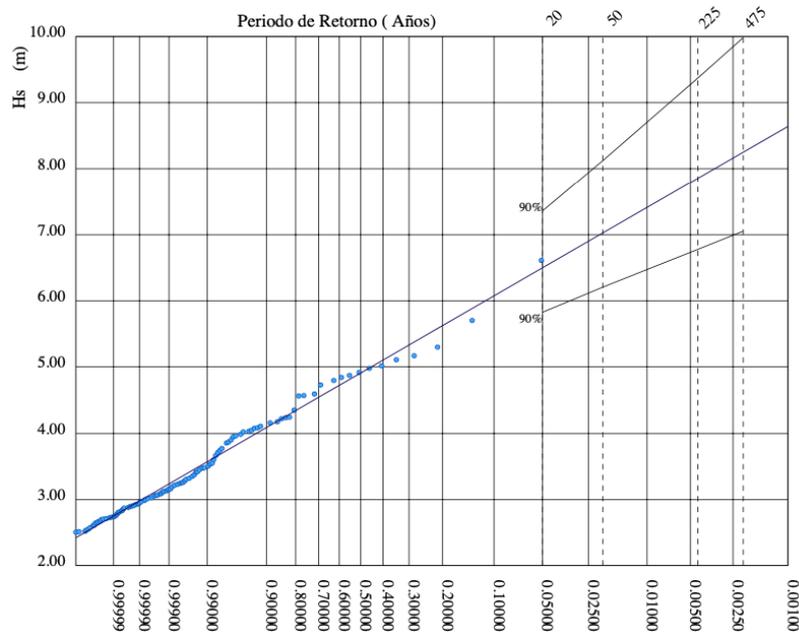


Imagen 10. Rosa de altura significativa de ola. (Fuente: Puertos del Estado)

## 7.2.- Altura de ola significativa

Dado que las alturas de ola más elevadas se producen en dirección Este y es en ésta misma dirección donde se tiene el fecht más largo, en este apartado de régimen extremal se analizará la altura de ola significativa para esta dirección.

LUGAR : Cabo de Palos  
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Jul. 2006 - Nov. 2017  
 PROFUNDIDAD : 230.0



Gráfica 5. Régimen extremal direccional de oleaje. (Fuente: Puertos del Estado)

Dado que la dirección predominante tanto en régimen medio como en extremal es la componente Este, se supone que el oleaje incide de manera perpendicular sobre el dique de Levante del puerto de Villajoyosa y por lo tanto la altura de ola significativa será la obtenida a partir del régimen extremal.

Para una vida útil de 25 años y partir de lo presente en la ROM 0.0 que dice lo siguiente:

*“Si la vida útil de la fase de proyecto servicio es  $TL = V = 25$  años, el año es el intervalo de tiempo unidad y si la probabilidad de fallo del tramo frente al modo en  $V$ , debe ser igual o menor que  $pm, V \leq 0.1$ , el periodo de retorno o número medio de años que deben transcurrir para que ocurra por primera vez el fallo es  $TR = V/pm, V = 250$  años. (ROM 0\_0-01.pdf, s. f.)”* se obtiene pues un periodo de retorno se 250 años.

Acudimos a la gráfica 5 con un periodo de retorno 250 años para la banda de confianza del 90% y obtenemos una altura de ola significativa  $H_s = 8,13$  metros.

### 7.3.- Periodo pico del oleaje

---

A partir del informe de régimen extremal de la boya de Cabo de Palos se extrae la siguiente fórmula para calcular el periodo pico del oleaje:

$$T_p = 4.76 H_s^{0.40}$$

Donde,

$T_p$  es el periodo pico del oleaje en segundos.

$H_s$  la altura de ola significativa para cada dirección predominante en metros.

Por lo tanto para una altura de ola  $H_s = 9,37$  metros se obtiene un periodo pico del oleaje de  $T_p = 11,64$  segundos.

## 8.- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

---

### 8.1.- Descripción

---

Con el fin de obtener la altura de ola significativa a pie de dique, se va a analizar en este apartado, mediante la plataforma informática "Cress.nl", la propagación del oleaje desde las aguas profundas en las que se encuentra la boya de Cabo de Palos hasta las aguas someras en las que se encuentran las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa. Este apartado es necesario para conocer la altura de ola significativa a pie de dique tanto para el régimen extremal como para el régimen medio.

Para calcular la propagación del oleaje se va a dividir el dique de Levante en tres tramos con el fin de conocer la altura de ola significativa a pie de obra de cada uno de estos tramos. Se va a analizar la propagación del oleaje para las cuatro direcciones predominantes vistas anteriormente y a partir de ello se conocerá el ángulo de incidencia de cada dirección predominante respecto a la perpendicular de los tramos del dique. Con estos datos de entrada y mediante la aplicación "Cress.nl" obtenemos la altura de ola significativa a pie de dique para analizar posteriormente los posibles modos de rotura de las obras de abrigo.

El dique de Levante en el puerto de Villajoyosa se ha dividido en tres tramos, a continuación se muestra la profundidad para cada uno de ellos:

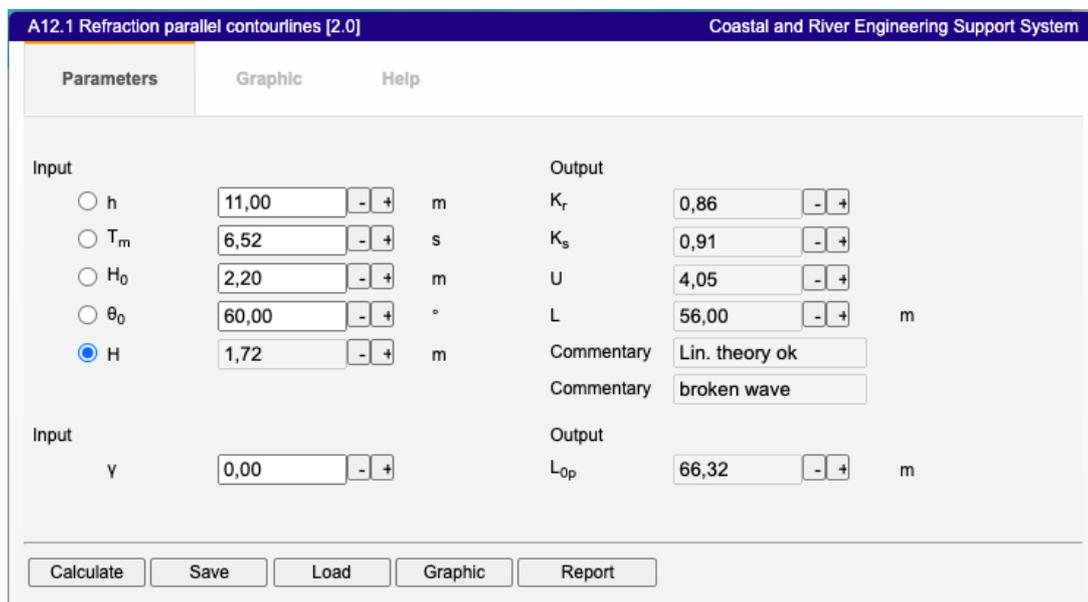
- Tramo 1: Tiene una profundidad de 8,00 metros.
- Tramo 2: Tiene una profundidad de 11,00 metros.
- Tramo 3: Tiene una profundidad de 11,00 metros.

A continuación, calculamos el ángulo de incidencia de las cuatro direcciones predominantes con respecto a la perpendicular del dique. El dique se encuentra a 60° con respecto a la componente Norte, trazando la normal a la línea del dique obtenemos el ángulo de incidencia en función de cada dirección predominante.

Dirección	Ángulo de incidencia (°)
ESTE (90°)	60
ESTE – SURESTE (112,5°)	37,5
SUR – SUROESTE (202,5°)	52,5
SUR (180 °)	30

**Tabla 3. Ángulos de incidencia de las direcciones predominantes en el dique de Levante.**

A partir de los datos obtenidos anteriormente acudimos a la plataforma “Cress.nl” así se conocerá la altura de ola significativa para cada componente y para cada tramo del dique de Levante. En este apartado no se calcula la altura de ola significativa en el contradique ya que nunca ha sufrido averías y actualmente con la ampliación del dique de Levante y la construcción del dique semisumergido para proteger la playa del Varadero el contradique se encuentra sobreprotegido.



**Imagen 11. Vista del programa de cálculo CRESS.NL**

## 8.2.- Régimen Medio

Para calcular la propagación del oleaje se ha utilizado como profundidad del dique 11 metros que es la que tienen los tramos 2 y 3. Por otro lado, a partir de los ángulos de incidencia, junto con el periodo pico y la altura de ola significativa se acude al programa Cress.nl para calcular la altura de ola a pie de dique.

Dirección	Altura de ola Hs (m)	Periodo Pico (seg)	Profundidad a pie de dique (m)	Altura de ola a pie de dique (m)
ESTE	2,20	6,52	11,00	1,72
ESTE - SURESTE	1,90	6,15	11,00	1,68
SUR – SUROESTE	2,00	6,28	11,00	1,67
SUR	1,70	5,88	11,00	1,54

Tabla 4. Propagación del oleaje a pie de dique para Régimen Medio.

## 8.3.- Régimen Extremal

Para calcular la propagación del oleaje en régimen extremal se ha utilizado como profundidad del dique 11 metros que es la que tienen los tramos 2 y 3. Por otro lado, a partir de los ángulos de incidencia, junto con el periodo pico y la altura de ola significativa se acude al programa Cress.nl para calcular la altura de ola a pie de dique. En este caso la altura de ola significativa y el periodo pico son el mismo, el único valor que cambia es el del ángulo de incidencia en función de las direcciones predominantes que aparecen en la tabla 3.

Dirección	Altura de ola Hs (m)	Periodo Pico (seg)	Profundidad a pie de dique (m)	Altura de ola a pie de dique (m)
ESTE	9,37	11,64	11,00	7,16
ESTE - SURESTE	9,37	11,64	11,00	8,73
SUR – SUROESTE	9,37	11,64	11,00	7,81
SUR	9,37	11,64	11,00	9,03

Tabla 5. Propagación del oleaje a pie de dique para Régimen Extremal.

## 9.- CORRIENTES

Las corrientes son los movimientos de grandes masas de agua que se producen en mares y océanos debido a varios factores como puede ser la diferencia de temperaturas, las distintas densidades del agua o los movimientos del planeta entre ellos. Existen dos tipos de corrientes, las transitorias y las permanentes.

El mar Mediterráneo posee un gran número de corrientes aunque no de la magnitud que se presentan en los océanos, donde grandes masas de agua fría procedente de los polos se desplaza a los trópicos donde ésta se calienta y vuelve de nuevo a los casquetes polares.

La corriente más importante del Mediterráneo es aquella que penetra desde el océano Atlántico por el Estrecho de Gibraltar y recorre el norte del continente africano hasta perder fuerza conforme se adentra al interior del Mediterráneo.

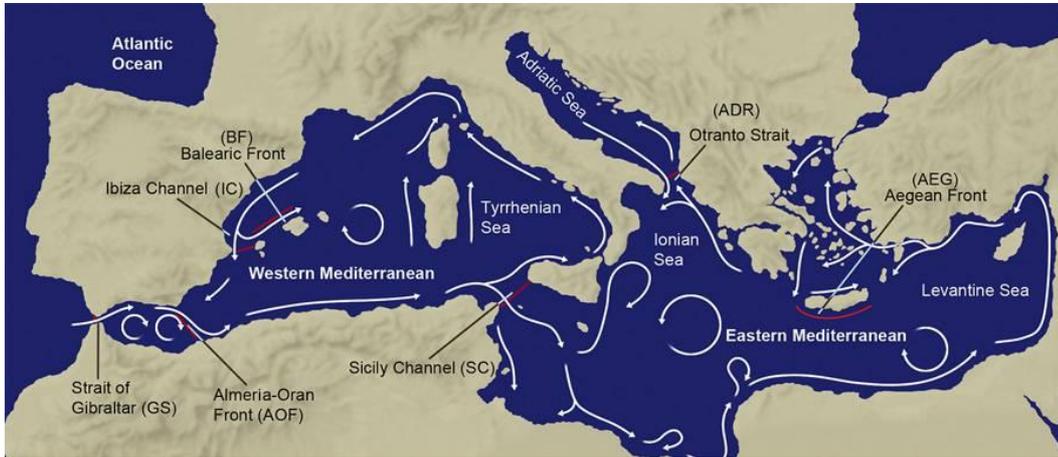


Imagen 11. Principales corrientes superficiales en el mar Mediterráneo.  
(Fuente: Ministerio de Ciencia e Innovación)



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

***ANEJO 4. AFECCIÓN DEL CAMBIO  
CLIMÁTICO EN EL CLIMA  
MARÍTIMO ACTUAL***

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.- VISOR C3E CANTABRIA .....</b>	<b>4</b>
2.1.- Descripción.....	4
2.2.- Nueva altura de ola significativa .....	5
2.3.- Cambio en la dirección predominante .....	5
<b>3.- CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR.....</b>	<b>6</b>
<b>4.- RELACIÓN CON EL CLIMA MARÍTIMO ACTUAL .....</b>	<b>7</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

---

En el presente anejo se va a analizar la influencia que el cambio climático puede tener en el clima marítimo actual y los cambios que esto puede provocar. Para ello se estudiarán los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 comentados en “Anejo 1. Cambio Climático”, junto con el visor C3E Cantabria. A partir de estos datos se obtendrá para cada escenario los nuevos valores de altura significativa de ola, nivel de mar y cambio en la dirección predominante del oleaje.

## 2.- VISOR C3E CANTABRIA

---

### 2.1.- Descripción

---

El visor C3E se trata de una herramienta que plantea a partir de proyecciones para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y los periodos 2026 – 2045 y 2081 – 2100 los datos de altura de ola significativa, nivel del mar y cambio en la dirección predominante.

El visor C3E, proyecto conocido como Cambio Climático en la Costa Española, fue creado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria y financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente con el fin de realizar un diagnóstico del cambio climático en la costa española. En este proyecto se buscaba alcanzar los siguientes objetivos:

*“(1) Aportar una visión de los principales cambios acontecidos en las costas españolas en décadas recientes, (2) Proporcionar una cuantificación de los cambios futuros apoyada en diversos escenarios de cambio, (3) Inferir los posibles impactos en horizontes de gestión de varias décadas, (4) Proporcionar una visión de la vulnerabilidad actual de las costas ante los mismos y (5) Establecer métodos, datos y herramientas para sucesivos pasos y análisis a escalas de mayor resolución espacial con el fin de establecer líneas de actuación encaminadas a la gestión responsable y la disminución de los riesgos, en aras de un desarrollo más sostenible y seguro del litoral español.”*  
(*estrategiaadaptacionccaprobada\_tcm30-420088.pdf*, s. f.)

A partir del informe “Estrategia de adaptación al Cambio Climático de la Costa Española” junto con el redactado por el Instituto Español de Oceanografía “Estudio del Cambio Climático en el Mediterráneo Español”, el Informe de 2014 del IPCC y el visor C3E se ha elaborado el presente anejo.

## 2.2.- Nueva altura de ola significativa

El visor C3E plantea variaciones respecto a las alturas de ola del clima marítimo actual. En la siguiente tabla se muestra de manera resumida los incrementos en metros de las alturas de ola para los dos escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y para los periodos 2026 – 2045 y 2081 – 2100.

Escenario	$\Delta H_s$ (m) 2026 - 2045	$\Delta H_s$ (m) 2081 - 2100
RCP4.5	-0,0039	-0,0087
RCP 8.5	-0,0023	-0,0088

Tabla 1. Incrementos de altura significativa de ola

Como se puede observar en la tabla 1 y en la imagen 1, las variaciones son negativas y prácticamente despreciables ya que la máxima variación se tiene para el escenario RCP8.5 para el periodo 2081 – 2100 y es de 8,8 milímetros, luego se puede concluir que la altura de ola no varía debido al cambio climático.

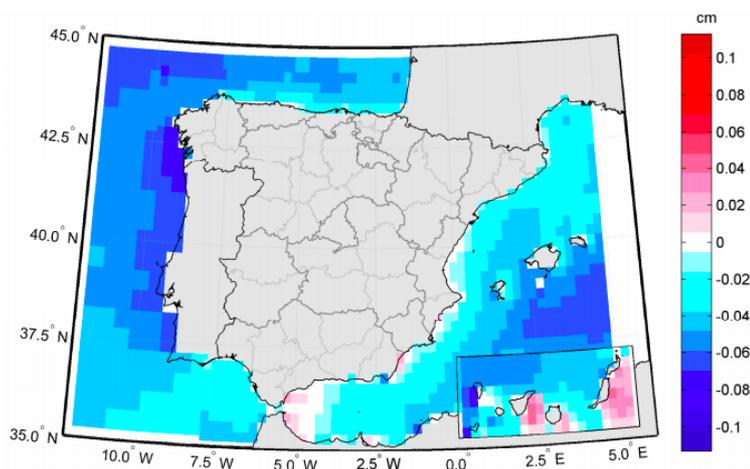


Imagen 1. Proyecciones de altura de ola media. (Fuente: Gobierno de España)

## 2.3.- Cambio en la dirección predominante

A partir del visor C3E obtenemos la variación de la dirección predominante del oleaje en relación a la actual. En este caso, como se presenta en “Anejo 3. Clima Marítimo”, la dirección predominante es Este ya que el mayor fecht se registra en esta dirección. Acudimos al visor y obtenemos los siguientes datos:

Escenario	$\Delta Dir$ (°) 2026 - 2045	$\Delta Dir$ (°) 2081 - 2100
RCP4.5	-2,01	-2,12
RCP 8.5	-1,98	-4,16

Tabla 2. Variaciones en la dirección predominante del oleaje

Como se observa en la tabla 2, las variaciones para las direcciones predominantes son prácticamente despreciables ya que la mayor variación es de 4° para el periodo 2081 – 2100 y para el escenario RCP8.5. Se puede concluir en que el cambio climático no variará la dirección predominante de oleaje.

### 3.- CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR

Los cambios mas importantes, según los informes del IPCC, están relacionados con el incremento nivel del mar. El aumento del nivel de mar es una realidad en el mar Mediterráneo, como se ha desarrollado en “Anejo 1. Cambio Climático” los mares y océanos van a sufrir un aumento en su volumen debido a varios factores, entre ellos el derrite de los polos, el aumento de la temperatura del mar y, en el caso del mar Mediterráneo, el aumento de su salinidad.

Como se observa en la imagen 2, tanto el escenario RCP4.5 como el RCP8.5 plantean una crecida del nivel de mar para el periodo 2081 – 2100. Si nos centramos en lo que plantea el escenario RCP4.5 se observa que en el puerto de Villajoyosa se toma un aumento del nivel del mar de unos 0,45 metros. Por otro lado, el escenario RCP8.5 plantea que el nivel de mar ascienda en este punto hasta 0,65 metros.

Como valor de cálculo se escoge el valor de 0,67 metros que propone el IPCC para el año 2100 según el escenario RCP8.5.

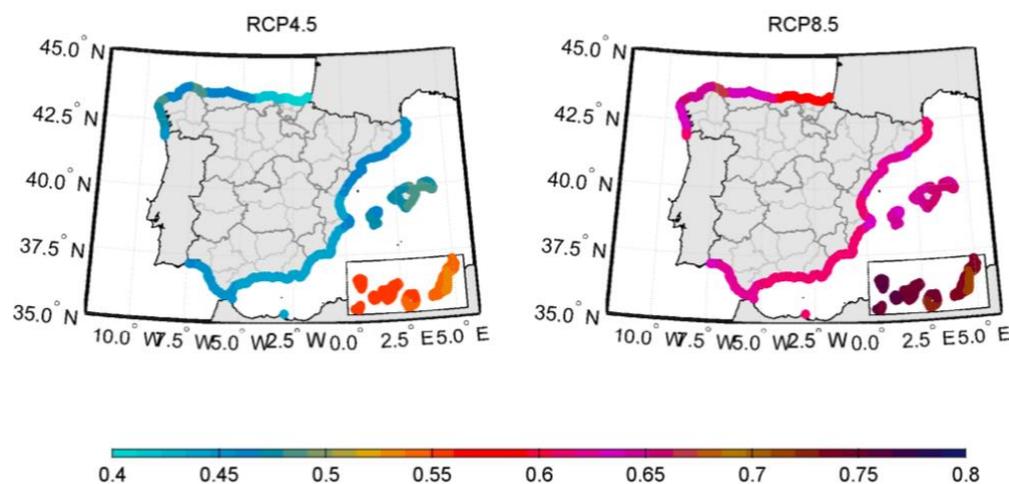


Imagen 2. Incremento de nivel de mar para el periodo 2081 – 2100 para los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). (Fuente: Gobierno de España)

De acuerdo con el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4), el nivel medio global de mares y océanos se encuentra en continuo ascenso desde 1870, según sus reconstrucciones y registros de mareógrafos. Se trata de un informe a nivel global pero se puede utilizar como herramienta para conocer que está ocurriendo con el nivel medio de mares y océanos en los últimos años, donde se muestra un claro ascenso de los

niveles medios. Según el AR4 entre 1993 y 2003 se registró un ascenso del nivel medio de 0,7 – 3,1 medido en milímetros por año. Esta variación en el nivel del mar se consiguió gracias al satélite TOPEX/Poseidon lanzado por la NASA al espacio en 1992 con el fin de realizar un mapa topográfico de los mares y océanos.

#### 4.- RELACIÓN CON EL CLIMA MARÍTIMO ACTUAL

---

El cambio climático es uno de los principales factores que puede generar variaciones en el clima marítimo actual. Para calcular los modos de fallo y posteriores soluciones se va a analizar el clima marítimo actual que junto con el cambio climático generará unos nuevos valores de cálculo. Los datos para calcular los modos de fallo de las obras de abrigo son los siguientes:

1. **Nivel de mar:** Marea Astronómica + Marea Meteorológica + Ascenso del nivel del mar debido al cambio climático.  
Nivel de mar =  $0,5 + 0,3 + 0,67 = 1,47$  metros.  
Esto significa que el ascenso de nivel de mar que se va a aplicar al cálculo respecto al actual es de 1,47 metros.
2. **Altura de ola:** La altura de ola a escoger será la más desfavorable para Régimen Extremal más el incremento de altura de ola según el visor C3E. En este caso como se ve en la tabla 1, el incremento de oleaje se puede tomar como nulo. Luego la altura de ola de cálculo para comprobar los modos de rotura de las obras de abrigo será: 9,03.
3. **Periodo pico:** Para realizar los cálculos de los modos de rotura de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa se utilizará el valor del periodo pico calculado para el Régimen Extremal, es decir  $T_c = 11,64$  segundos.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

***ANEJO 5. ESTUDIO DE  
SOLUCIONES PARA LA  
ADAPTACIÓN DE LAS OBRAS DE  
ABRIGO***

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.- CARACTERÍSTICAS DEL DIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>3.- MODOS DE FALLO</b> .....	<b>5</b>
3.1.- Rebase del espaldón .....	6
3.2.- Extracción del manto .....	9
3.3.- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento .....	12
3.4.- Asentamiento del núcleo .....	17
<b>4.- ESTUDIO DE SOLUCIONES</b> .....	<b>17</b>
4.1.- Elevación de la cota del espaldón .....	17
4.2.- Colocación de nueva capa en el manto .....	18
4.3.- Solución mixta .....	19
<b>5.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA</b> .....	<b>19</b>
<b>6.- CONCLUSIÓN</b> .....	<b>21</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se va a comprobar si es posible que el cambio climático, actuando sobre el clima marítimo, generen una altura de ola capaz de provocar la rotura de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa.

En primer lugar se va a estudiar para dos escenarios los modos de rotura y posteriormente en el apartado 4, se realizará el estudio de soluciones. Se debería realizar un análisis multicriterio con técnicas estadísticas que simulen multitud de escenarios posibles, dentro de los cuales se analizaran múltiples criterios como podría ser la afección de cada alternativa al medio ambiente, con especial relevancia en el medio marino, los impactos socioeconómicos que generarían sobre la sociedad del entorno, pero en este caso, siguiendo las tendencias de la actualidad se prestará especial relevancia al impacto económico que cada alternativa genere, buscando la de menor precio, y otros aspectos importantes de carácter estructural, incluyendo su resistencia y durabilidad.

## 2.- CARACTERÍSTICAS DEL DIQUE

El dique de Levante del puerto de Villajoyosa está formado por tres tramos, las secciones se explican en “Anejo 2. Estado actual de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa”. El manto de los tramos 1 y 2, están formados por escollera de 7 toneladas. El tramo 3 del puerto tiene una subcapa de escollera de 7 toneladas pero el manto superior está formado por bloques de hormigón de  $2 \times 2 \times 2,75$ , es decir  $11 \text{ m}^3$ . El morro del dique de Levante tiene las mismas características que el tramo 3. Luego para calcular la extracción del manto mediante la fórmula de Hudson se tendrán en cuenta estos dos materiales (escollera y bloques). En las siguientes imágenes propia tomadas en obra se muestran los materiales que componen el manto del dique del puerto de Villajoyosa:

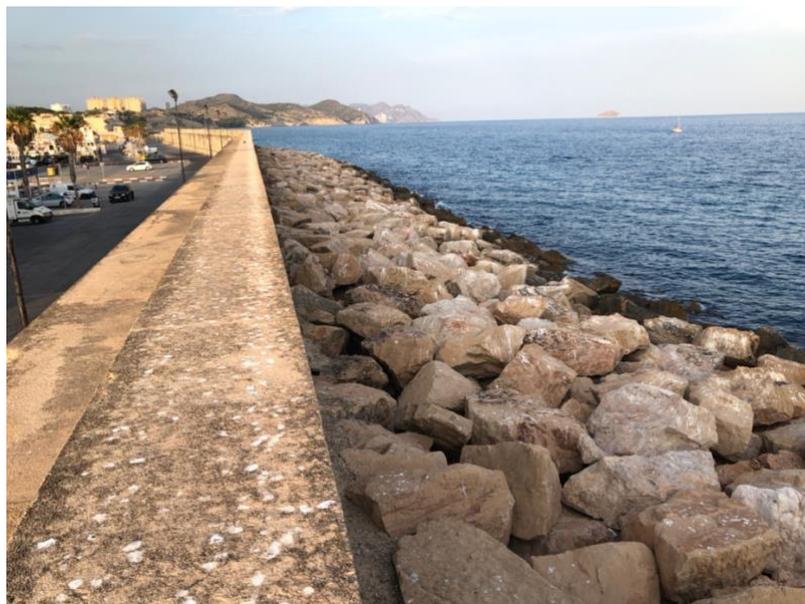


Imagen 1. Manto de escollera en el puerto de Villajoyosa.

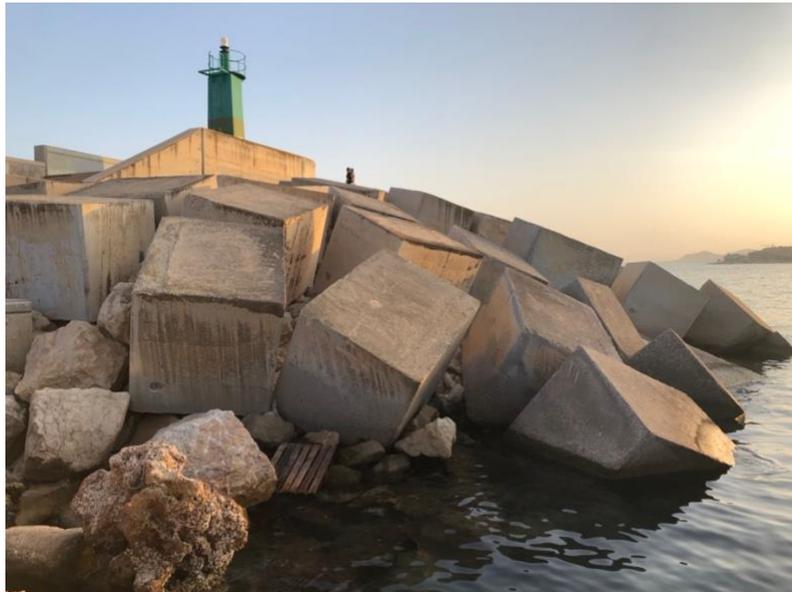


Imagen 2. Manto de bloques de hormigón armado en el morro del puerto de Villajoyosa.

### 3.- MODOS DE FALLO

---

Para calcular los modos de fallo planteados que pueden ocurrir en las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa se van a tener en cuenta dos escenarios:

- Escenario 0: Clima marítimo actual sin la influencia del Cambio Climático.
- Escenario 1: Clima marítimo actual influenciado por el Cambio Climático.

En cada escenario se van a analizar tres posibles modos de fallo, que se entiende como los que más posibilidades tienen de ocurrir en el puerto de Villajoyosa. Los modos de fallo que se van a estudiar tanto para el escenario 0 como el 1 son:

- Rebase del espaldón.
- Extracción del manto.
- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento.

Cada modo de fallo se analizará para los dos tramos en función de los materiales del manto, un tramo de escollera (tramo 1) y un tramo de bloques de hormigón (tramo 2). Para los dos tramos se tomará una profundidad media de 11 metros ya que es la que se encuentra en el tramo 2 y 3, el tramo 1 del dique tiene un calado de 8 metros pero tomamos el valor de 11 metros para simplificar y tomar la opción más desfavorable, ya que según la fórmula del EurOtop a mayor calado (con una misma altura de ola) existe mayor rebase.

Los modos de fallo se van a estudiar y calcular a partir de una hoja de cálculo Excel realizada por el alumno.

### 3.1.- Rebase del espaldón

En este apartado se va a analizar uno de los mayores problemas que puede sufrir el dique del puerto de Villajoyosa, los rebases en época de temporales han sido una constante a lo largo de la historia del puerto. Es por esto que el cambio climático y su consiguiente subida del nivel del mar provoquen que estos rebases sean cada vez más frecuentes.

El cálculo del rebase del oleaje sobre el espaldón se va a realizar a partir de la fórmula propuesta por EurOtop quien en 2007 publicó un manual sobre desbordamiento de olas de defensas marítimas que han ido actualizando hasta sacar su segunda versión en 2018.

La fórmula para calcular los rebases de en un dique en talud con manto de bloques o escollera y espaldón es la siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = Cr \cdot 0.2 \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right)$$

Donde,

$$Cr = \min\left[1.0; 3.06 \cdot \exp\left(-1.5 \cdot \frac{G_c}{H_{m0}}\right)\right]$$

q es el valor de la descarga de rebase en m<sup>3</sup>/s/m.l.

g es la aceleración debida a la gravedad.

R<sub>c</sub> es distancia entre la superficie del mar y la cota de coronación del espaldón.

H<sub>m0</sub> valor de la altura de ola de cálculo. Es el mínimo entre 0,55\*Profundidad y la altura de ola significativa.

G<sub>c</sub> es el ancho de la berma.

#### **ESCENARIO 0:**

En el escenario 0 solo se tiene en cuenta el clima marítimo actual sin la influencia del cambio climático. En este caso se tiene lo siguiente:

**TRAMO 1:** Tramo formado por un manto de escollera de 7 toneladas. Con un talud de 1/3,5. La altura de ola de cálculo se ha obtenido a partir del mínimo entre H<sub>m0</sub> y 0,55\*Calado a pie de dique (z). Para calcular el rebase en el tramo 1 se tienen los siguientes:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

q: Valor de descarga de rebase en m<sup>3</sup>/s/m.l.

$$H_{m0} = 4,84 \text{ m}$$

$$G_c = 2,00 \text{ metros.}$$

$$R_c = 7,45 \text{ metros.}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\gamma_B = 0,5$$

**TRAMO 2:** Tramo formado por un manto de bloques de hormigón armado de 11 m<sup>3</sup>. Con un talud de 1/3,5. La altura de ola de cálculo se ha obtenido a partir del mínimo entre H<sub>m0</sub> y 0,55\*Calado a pie de dique (z). Para calcular el rebase en el tramo 1 se tienen los siguientes:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

q: Valor de descarga de rebase en m<sup>3</sup>/s/m.l.

$$H_{m0} = 4,84 \text{ m}$$

$$G_c = 2,00 \text{ metros.}$$

$$R_c = 7,45 \text{ metros.}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\gamma_B = 0,5$$

El rebase calculado tanto para el tramo 1 como el tramo 2, es de 0,026 m<sup>3</sup>/s/m.l., es decir el rebase se produce de unos 26 l/s/m.l.

### **ESCENARIO 1:**

En el escenario 1 se tiene en cuenta el clima marítimo actual junto con la influencia del cambio climático. En este caso se tiene lo siguiente:

**TRAMO 1:** Tramo formado por un manto de escollera de 7 toneladas. Con un talud de 1/3,5. La altura de ola de cálculo se ha obtenido a partir del mínimo entre H<sub>m0</sub> y 0,55\*Calado a pie de dique (z). Para calcular el rebase en el tramo 1 se tienen los siguientes:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

q: Valor de descarga de rebase en m<sup>3</sup>/s/m.l.

$$H_{m0} = 4,84 \text{ m}$$

$$G_c = 2,00 \text{ metros.}$$

$$R_c = 6,78 \text{ metros.}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\gamma_B = 0,5$$

**TRAMO 2:** Tramo formado por un manto de bloques de hormigón armado de 11 m<sup>3</sup>. Con un talud de 1/3,5. La altura de ola de cálculo se ha obtenido a partir del mínimo entre H<sub>m0</sub> y 0,55\*Calado a pie de dique (z). Para calcular el rebase en el tramo 1 se tienen los siguientes:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

q: Valor de descarga de rebase en m<sup>3</sup>/s/m.l.

$$H_{m0} = 4,84 \text{ m}$$

$$G_c = 2,00 \text{ metros.}$$

$$R_c = 6,78 \text{ metros.}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\gamma_B = 0,5$$

El rebase calculado tanto para el tramo 1 como el tramo 2, es de 0,065 m<sup>3</sup>/s/m.l., es decir el rebase se produce de unos 65 l/s/m.l.

A continuación se comprueba para este escenario si el rebase calculado es tolerable o no. De EurOtop obtenemos los siguientes máximos tolerables en cuanto a rebases del espaldón:

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V <sub>max</sub> (l per m)
Rubble mound breakwaters; H <sub>m0</sub> > 5 m; no damage	1	2,000-3,000
Rubble mound breakwaters; H <sub>m0</sub> > 5 m; rear side designed for wave overtopping	5-10	10,000-20,000
Grass covered crest and landward slope; maintained and closed grass cover; H <sub>m0</sub> = 1 – 3 m	5	2,000-3,000
Grass covered crest and landward slope; not maintained grass cover, open spots, moss, bare patches; H <sub>m0</sub> = 0.5 – 3 m	0.1	500
Grass covered crest and landward slope; H <sub>m0</sub> < 1 m	5-10	500
Grass covered crest and landward slope; H <sub>m0</sub> < 0.3 m	No limit	No limit

**Tabla 1. Máximos rebases tolerables. (Fuente: EurOtop)**

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V <sub>max</sub> (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H <sub>m0</sub> > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H <sub>m0</sub> = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H <sub>m0</sub> = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H <sub>m0</sub> > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H <sub>m0</sub> = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H <sub>m0</sub> = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

**Tabla 2. Máximos rebases tolerables en función de lo que se encuentra  
detrás de la obra de abrigo(Fuente: EurOtop)**

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V <sub>max</sub> (l per m)
People at structures with possible violent overtopping, mostly vertical structures	No access for any predicted overtopping	No access for any predicted overtopping
People at seawall / dike crest. Clear view of the sea.		
H <sub>m0</sub> = 3 m	0.3	600
H <sub>m0</sub> = 2 m	1	600
H <sub>m0</sub> = 1 m	10-20	600
H <sub>m0</sub> < 0.5 m	No limit	No limit
Cars on seawall / dike crest, or railway close behind crest		
H <sub>m0</sub> = 3 m	<5	2000
H <sub>m0</sub> = 2 m	10-20	2000
H <sub>m0</sub> = 1 m	<75	2000
Highways and roads, fast traffic	Close before debris in spray becomes dangerous	Close before debris in spray becomes dangerous

**Tabla 3. Máximos rebases tolerables para vehículos y personas detrás  
de la obra de abrigo. (Fuente: EurOtop)**

Dado que nuestra obra de abrigo se trata de un dique rompeolas, la máxima descarga permitida debido al rebase es de entre 5 y 10 litros por segundo y por metro. En cuanto a nivel de rebase permitido con construcciones al abrigo del dique se permite un máximo de  $> 5$  l/s/m.l. Tomaremos como valor máximo de rebase permitido 15 l/s/m.l.

En este caso el puerto de Villajoyosa no cumple con estas restricciones ya que para una ola de cálculo de 6,49 metros se produce un rebase de 24 litros por segundo y por metro lineal en el escenario 0 y un rebase de 65 l/s/m.l. para el escenario 1 donde se tiene en cuenta el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático.

Habrá que modificar la sección del dique del puerto de Villajoyosa para que los rebases que se produzcan en el espaldón sean los tolerables según el EurOtop. Las posibles soluciones vienen dadas en el apartado 4. Una posible solución consistiría en elevar la cota de coronación del espaldón para atenuar los rebases en épocas de temporales.

### 3.2.- Extracción del manto

La rotura del manto se va a calcular a partir de la fórmula de Hudson (1959), en ella está presente el parámetro  $K_D$  que se refiere a la estabilidad hidráulica de las piezas del manto principal. La fórmula de Hudson (1959) utiliza este coeficiente para considerar la estabilidad hidráulica de cada pieza, en este caso bloques de hormigón y escollera.

La fórmula de Hudson es la siguiente:

$$W = \frac{1}{K_D} \cdot \frac{H^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \cdot \frac{\gamma_r}{\cot \alpha}$$

Donde,

$W$  es el peso de la pieza.

$\gamma_r$  es el peso específico del hormigón o de la escollera.

$\gamma_w$  es el peso específico del agua del mar.

$H$  es la altura de ola de diseño.

$\alpha$  es el ángulo que forma el talud con la horizontal.

El manto de escollera está compuesto por escollera de 7 toneladas y con un peso específico de  $2.600 \text{ Kg/m}^3$ . Luego el manto tiene un peso unitario de 7 toneladas.

El peso del manto de bloques de hormigón se calcula a partir de las mediciones realizadas en el propio puerto donde se obtuvo una medición de los bloques de  $2 \times 2 \times 2,75$  metros, es decir  $11 \text{ m}^3$  de hormigón armado. Luego el peso de la pieza de hormigón armado viene dado por la expresión:  $11 \text{ m}^3 \times 2.400 \text{ Kg/m}^3 = 26.400 \text{ Kg} = 26,5$  toneladas.

**ESCENARIO 0:**

Calculamos para el escenario 0 (sin influencia del cambio climático) la extracción del manto, dado que nos encontramos en un dique rompeolas acudimos a la fórmula de Hudson (1959) y tenemos:

**TRAMO 1:** El manto principal del tramo 1 está formado por escollera de 7 toneladas, luego acudimos a la fórmula de Hudson (1959) con los siguientes datos:

W es el peso de la pieza a comprobar.

$$\gamma_r = 2600 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\gamma_w = 1025 \text{ Kg/m}^3.$$

$$H = 6,49 \text{ metros.}$$

$$\alpha = 15,95^\circ.$$

$$K_d = 5$$

Con estos datos de entrada se obtiene, según la fórmula de Hudson (1959), que el manto principal de escollera debería tener un peso de 11 toneladas, es decir, 4 toneladas más de lo que pesa actualmente para que no haya rotura del manto. Cabe comentar que la fórmula de Hudson es una aproximación y está basada en un oleaje regular y con un fondo plano.

**TRAMO 2:** El manto principal del tramo 2 está formado por bloques de hormigón de 11 m<sup>3</sup> medidos en obra por el alumno, es decir la pieza pesa unas 26,5 toneladas. Acudimos a la fórmula de Hudson (1959) con los siguientes datos:

W es el peso de la pieza a comprobar.

$$\gamma_r = 2400 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\gamma_w = 1025 \text{ Kg/m}^3.$$

$$H = 6,49 \text{ metros.}$$

$$\alpha = 15,95^\circ.$$

$$K_d = 6$$

Tras introducir estos datos en la fórmula de Hudson (1959) se tiene que el peso del manto principal de bloques para el escenario 1 debería ser de 14 toneladas, luego es poco probable que el manto de bloques sufra una rotura.

Datos de entrada	Hm0d(m)	Hm0(m)	Tp (s)	Dh	Calado (z)	Rc	Gc	Fc	Ch	Cb	p (kg/m3)	g (m/s2)	Kd	pr(kg/m3)	a (°)
	6,49	9,03	11,64	0,8	11,8	7,45	2	0,1	7,75	4,4	1025	9,81	5	2600	15,94
		Cr	q (m3/s/m)		W (Kg)	Fh (N/m)	Pv(N/m2)	MhF (N*m/m)	Fv(N/m)	Mv(N*m/m)					
		1,00	0,02647574		11.194,36	490760,81	35841,99	2282037,79	78852,38	231300,31					
		$Cr = \min \left[ 1,0; 3,06 \cdot \exp \left( -1,5 \frac{G_c}{H_{m0}} \right) \right]$													
		$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = Cr \cdot 0,2 \cdot \exp \left( -2,6 \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_r} \right)$													
		$W = \frac{1}{K_D} \cdot \frac{H^3}{(\gamma_r - 1)^3} \cdot \cot \alpha$													
						FÓRMULA EUROTOP									
													Kd Escollera	5	
													Kd Bloques	6	
													pr escollera	2600 kg/m3	
													pr hormigón	2400 kg/m3	
						FÓRMULA HUDSON (1959)									

Tabla 4. Hoja de cálculo para los modos de fallo de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa. (Fuente: Excel)

### ESCENARIO 1:

Para calcular la extracción del manto en el escenario 1, es decir, con influencia del cambio climático en el clima marítimo actual, acudimos a la fórmula de Hudson (1959) y se tienen los siguientes valores para cada tramo. El cambio climático provoca que el nivel del mar, junto con la marea astronómica y meteorológica se eleve hasta 1,47 metros sobre el nivel medio actual.

TRAMO 1: El manto principal del tramo 1 está formado por escollera de 7 toneladas, luego acudimos a la fórmula de Hudson (1959) con los siguientes datos:

W es el peso de la pieza a comprobar.

$$\gamma_r = 2600 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\gamma_w = 1025 \text{ Kg/m}^3.$$

$$H = 6,85 \text{ metros.}$$

$$\alpha = 15,95^\circ.$$

$$K_d = 5$$

Con estos datos de entrada se obtiene, según la fórmula de Hudson (1959), que el manto principal de escollera debería tener un peso de 13 toneladas, es decir, 6 toneladas más de lo que pesa actualmente para que no haya rotura del manto. Se puede apreciar como la nueva altura de ola y el nuevo calado, influenciado por el cambio climático provoca una situación más desfavorable en cuanto a la rotura del manto. Cabe comentar que la fórmula de Hudson es una aproximación y está basada en un oleaje regular y con un fondo plano.

TRAMO 2: El manto principal del tramo 2 está formado por bloques de hormigón de  $11 \text{ m}^3$  medidos en obra por el alumno, es decir la pieza pesa unas 26,5 toneladas. Acudimos a la fórmula de Hudson (1959) con los siguientes datos:

W es el peso de la pieza a comprobar.

$$\gamma_r = 2400 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\gamma_w = 1025 \text{ Kg/m}^3.$$

$$H = 6,85 \text{ metros.}$$

$$\alpha = 15,95^\circ.$$

$$K_d = 6$$

Tras introducir estos datos en la fórmula de Hudson (1959) se tiene que el peso del manto principal de bloques para el escenario 1 debería ser de 15,5 toneladas, luego es poco probable que el manto de bloques sufra una rotura ya que el peso actual del manto principal para este tramo es superior al ya existente.

En resumen, el tramo de bloques cumple con lo propuesto por la fórmula de Hudson (1959) para los dos escenarios, mientras que el dique de escollera no cumple las condiciones de peso para ninguno de los dos escenarios. Haría falta colocar más peso en el manto principal de escollera hasta alcanzar las 13 toneladas.

### 3.3.- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento

Para comprobar la inestabilidad del espaldón es necesario calcular en éste las fuerzas verticales, horizontales y el momento que produce el oleaje sobre él. Para calcular todas las acciones sobre el espaldón se toman las fórmulas presentes en el estudio: “(Molines et al. (2018))”

En la siguiente imagen se muestra detalladamente qué es cada dato dentro de las fórmulas de inestabilidad del espaldón. A partir de la imagen se hace más sencillo comprender los valores que se introducen en las fórmulas de cálculo.

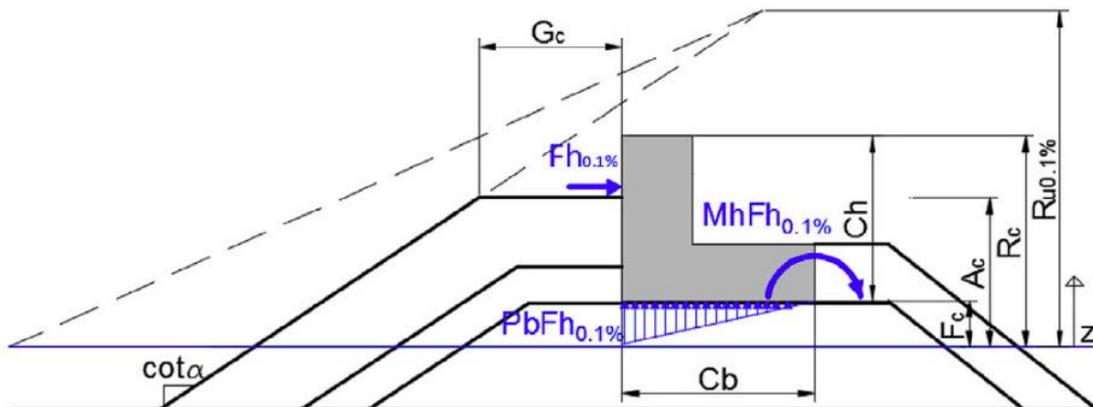


Imagen 3. Variables usadas en el cálculo del espaldón. (Fuente: Molines et al. (2018))

#### **FUERZA HORIZONTAL:**

En primer lugar se va a calcular la fuerza horizontal que produce el oleaje en el espaldón, para ello acudimos a la fórmula 12 a del estudio:

$$\frac{Fh}{0,5 * \rho * g * Ch^2} = 3,6 + 0,6 * \log \left( \frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} \right)$$

Donde,

Fh es la fuerza horizontal en N/m.

$\rho$  es la densidad del agua en Kg/m<sup>3</sup>.

g es la aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

Ch es la altura del espaldón.

q es el rebase.

H<sub>m0</sub> es la altura de ola de cálculo en m.

### FUERZA VERTICAL:

En segundo lugar se va a calcular la fuerza vertical, para ello acudimos a la fórmula 17 a, la cual nos da el valor de la presión vertical en el espaldón. A partir del valor de la presión calculamos la fuerza vertical en N/m multiplicando la presión por la mitad del ancho del espaldón. La fórmula para obtener la presión vertical en el espaldón del dique es la siguiente:

$$\frac{PbF}{0,5 * \rho * g * Ch} = 0,02 * \left( \frac{Fc}{\frac{g * Tp}{2 * \pi}} \right)^{0,5}$$

Donde,

PbF es la presión vertical en N/m<sup>2</sup>.

$\rho$  es la densidad del agua en Kg/m<sup>3</sup>.

g es la aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

Ch es la altura del espaldón.

Tp es el periodo pico del oleaje.

Fc es la distancia entre la superficie del oleaje y la cota de cimentación del espaldón.

Cb es el ancho del espaldón.

Luego, la fuerza vertical (N/m) será igual a:

$$Fv = Pbf * 0,5 * Cb$$

### MOMENTO HORIZONTAL:

Para calcular el momento horizontal que se produce en el talón del espaldón se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{Mhf}{\rho * g * Ch^2} = 1,08 + 0,18 * \log \left( \frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} \right)$$

Donde,

Mhf es el momento debido a las fuerzas horizontales en el espaldón en N\*m/m.

### MOMENTO VERTICAL:

Para calcular el momento vertical simplemente se multiplica la fuerza vertical por 2/3 del ancho del espaldón, luego se tiene lo siguiente:

$$Mv = \frac{2}{3} * Fv * Cb$$

Donde,

Mv es el momento debido a las fuerzas verticales producidas en el espaldón en N\*m/m.

Dado que el espaldón en todo el dique tiene la mismas dimensiones, calculamos la fuerza horizontal, la fuerza vertical y los momentos que se genera en el espaldón tanto para el escenario 0 (sin cambio climático) como para el escenario 1 (con influencia del cambio climático).

A continuación se muestra en la imagen 2, la sección del tramo 2 del dique de Levante para obtener las medidas de las fórmulas de inestabilidad del espaldón. La sección ha sido realizada por el alumno en AutoCAD a partir de las mediciones mostradas en las secciones del Anejo 2.

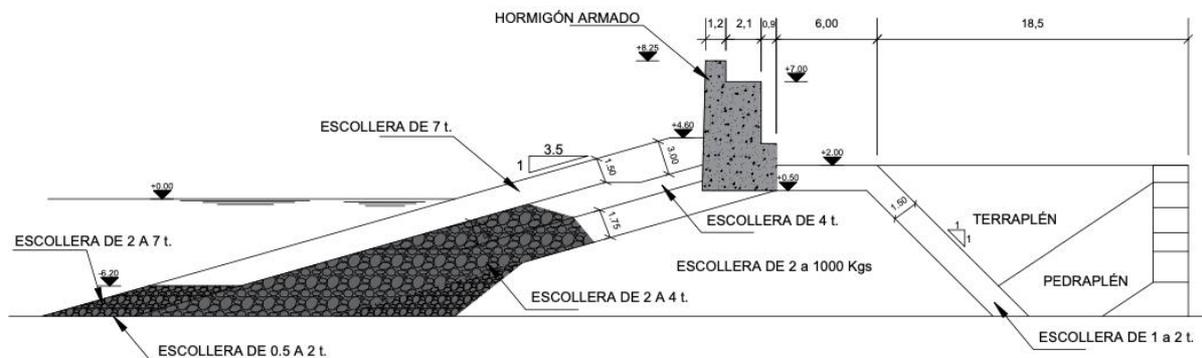


Imagen 1. Sección tramo 2 del dique de Levante del puerto de Villajoyosa.

### ESCENARIO 0:

$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$ .  
 $g = 9,81 \text{ en m/s}^2$ .  
 $Ch = 7,75 \text{ metros}$ .  
 $Cb = 4,40 \text{ metros}$   
 $H_{m0} = 6,49 \text{ m}$ .  
 $Tp = 11,64 \text{ seg}$ .  
 $Fc = 0,1 \text{ metros}$ .

ESCENARIO 1:

$\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$ .  
 $g = 9,81 \text{ en m/s}^2$ .  
 $Ch = 7,75 \text{ metros}$ .  
 $Cb = 4,40 \text{ metros}$   
 $H_{m0} = 6,85 \text{ m}$ .  
 $Tp = 11,64 \text{ seg}$ .  
 $Fc = 0,1 \text{ metros}$ .

El peso propio del espaldón es igual al área de la sección por el peso específico del hormigón, luego:

$$W = 27,24 \text{ m}^2 * 2,4 \text{ t/m}^3 = 65,37 \text{ t/m} = 653,7 \text{ Kn/m}.$$

Escenario	Fh (N/m)	Fv (N/m)	Mh (N*m/m)	Mv (N*m/m)
Escenario 0	490.760,8	78.852,38	2.282.037,79	231.300,31
Escenario 1	555.968,62	78.852,38	2.585.254,08	231.300,31

Tabla 5. Valor de las acciones sobre el espaldón del dique del puerto de Villajoyosa.

A continuación, con los valores de la tabla 5 calculamos la estabilidad del espaldón frente al vuelco y al deslizamiento.

En primer lugar calculamos la estabilidad frente al deslizamiento. Para ello usamos la siguiente fórmula:

$$CSD = \frac{\sum F_{est}}{\sum F_{des}} = \frac{\mu * (W - Fv)}{Fh}$$

Para el escenario 0:

$$CSD = \frac{1 * \left( 653,7 \frac{Kn}{m} - 78,85 \frac{Kn}{m} \right)}{490,76 \frac{Kn}{m}} = 1,17 > 1$$

Para el escenario 0 el espaldón cumple frente al deslizamiento ya que las fuerzas estabilizadoras son superiores a las desestabilizadoras. Para obras de larga duración se proponen valores de  $\mu$  superiores a 0,8 en este caso tomamos  $\mu = 1$ .

Para el escenario 1:

$$CSD = \frac{1 * \left( 653,7 \frac{Kn}{m} - 78,85 \frac{Kn}{m} \right)}{555,96 \frac{Kn}{m}} = 1,03 > 1$$

Para un posible escenario de cambio climático el espaldón perdería estabilidad, aunque seguiría siendo resistente al deslizamiento ya que las fuerzas estabilizadoras son ligeramente superiores a las desestabilizadoras.

Por último calculamos la estabilidad del espaldón frente al vuelco, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$CSV = \frac{\sum M_{est}}{\sum M_{vol}} = \frac{M_w}{M_h + M_v}$$

Para el escenario 0 tenemos:

$$M_h = F_h * 1/3 H_{\text{espaldón}} = 490,76 * 7,75/3 = 1267,8 \text{ Kn*m/m.}$$

$$M_w = A_T * 24 = 1609,1 \text{ Kn*m/m.}$$

$$CSV = \frac{1609 \text{ Kn} * \frac{m}{m}}{1267,8 \text{ Kn} * \frac{m}{m} + 231,3 \text{ Kn} * \frac{m}{m}} = 1,073 > 1$$

Para el escenario 0 el espaldón cumple frente al vuelco.

En cuanto al escenario 1 se obtiene lo siguiente:

$$M_h = F_h * 1/3 H_{\text{espaldón}} = 555,96 * 7,75/3 = 1390 \text{ Kn*m/m.}$$

$$CSV = \frac{1609 \text{ Kn} * \frac{m}{m}}{1390 \text{ Kn} * \frac{m}{m} + 231,3 \text{ Kn} * \frac{m}{m}} = 0,99 < 1$$

El espaldón del dique del puerto de Villajoyosa no cumpliría para un escenario RCP8.5 de cambio climático la resistencia frente al vuelco.

Con el fin de asegurar la estabilidad del espaldón se realiza un estudio de posibles soluciones para reparar tanto el problema del vuelco como el de exceso de rebases en épocas de grandes temporales.

### 3.4.- Asentamiento del núcleo

Las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa se encuentran construidas desde los 70, en los 50 años que lleva construido el puerto no se ha registrado asentamiento del terreno o inestabilidad de este, luego se puede descartar la posibilidad de que el núcleo de las obras de abrigo sufran asentamientos tras haber transcurrido tanto tiempo desde su colocación. En el caso del dique de Levante se conserva el núcleo primitivo que data de 1936, es decir el núcleo en más de 80 años desde su colocación no ha sufrido asentamientos o inestabilidades del terreno.

## 4.- ESTUDIO DE SOLUCIONES

A partir de los modos de fallo que se producen para el escenario 1, se realiza un estudio de soluciones que va a consistir en tres alternativas. En primer lugar, y debido a los rebases, se propone elevar la cota de coronación del espaldón. Esta medida puede venir acompañada de una fuerza horizontal más desfavorable debido al incremento de superficie expuesta al oleaje del espaldón. Otra medida consiste en colocar una capa extra en el manto del dique ya sea de cubos o de escollera. Por último se propondrá una solución que combine las dos anteriores. En este apartado se plantearán las distintas posibles soluciones que podrían tomarse.

Para este apartado se toma el escenario 1 para elaborar las posibles soluciones, esto supone una ola de cálculo de 6,85 metros, con un periodo pico de 11,64 segundos.

### 4.1.- Elevación de la cota del espaldón

El principal problema del dique del puerto de Villajoyosa son los rebases del espaldón provocados en épocas de grandes temporales. La solución más indicada para evitar que los rebases debidos al nuevo clima marítimo influenciado por el cambio climático consiste en la elevación de la cota del espaldón. Esta medida ya se tomó anteriormente en el puerto de Villajoyosa cuando en el año 1962 se elevó la cota del espaldón en 4 metros, alcanzando la cota +8,25 m. que posee actualmente el espaldón del puerto.

Para calcular la elevación mínima necesaria de la cota del espaldón y cumplir con los límites de rebases establecidos por el EurOtop acudimos a la fórmula:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = Cr \cdot 0.2 \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right)$$

Dado que el rebase máximo permitido por el EurOtop para la situación del dique de Levante es de 15 l/s/m.l. modificamos en la fórmula el valor de Rc (Distancia entre el nivel del mar y la cota de coronación del espaldón) hasta obtener un valor de q inferior a 15 l/s/m.l. En este caso se obtiene que la cota de coronación del espaldón debe

elevarse en 2 metros, es decir la nueva cota sería +10,25 metros. Con esta nueva cota del espaldón consigue reducirse los rebases a 14 l/s/m.l., luego cumpliría con las recomendaciones que propone el EurOtop. Por otro lado esta elevación del espaldón provocaría un mayor confinamiento visual en el puerto, pues el muro se elevaría dos metros por encima de la coronación actual, sin embargo el puerto de Villajoyosa posee actualmente un espaldón elevado que genera un importante confinamiento visual.



Imagen 2. Espaldón actual en el dique de Levante del puerto de Villajoyosa (Fuente: Google Maps)

Cabe destacar que la elevación del contradique aumentaría el peso de este, generando un momento estabilizador mayor, lo que ayudaría a evitar el vuelco del espaldón.

Por lo tanto como primera solución se propone elevar la coronación del espaldón 2 metros, alcanzando la cota +10,25 metros. En “Documento 2. Planos” se adjunta una posible solución elevando el espaldón en dos metros. Dado que el espaldón del dique del puerto de Villajoyosa es de tipo transitable, se ha propuesto, elevando la cota del espaldón, mantener el muro de en coronación de 1,25 metros (como el actual) para no evitar así la pérdida de visibilidad al mar.

#### 4.2.- Colocación de nueva capa en el manto

Como segunda solución se propone colocar una nueva capa sobre el manto actual, lo que haría aumentar la dimensión de la berma (Gc). Un aumento en el ancho de la berma provocado por la colocación de un nuevo manto de escollera o bloques sobre el ya existente disminuiría los rebases sobre el espaldón. Por otro lado aumentaría la estabilidad del espaldón ya que el espaldón tendría menor superficie expuesta directamente al oleaje.

Además colocar un manto de bloques sobre el actual, especialmente en los tramos de escollera (tramos 1 y 2) elevaría el peso del manto y se cumpliría lo propuesto por la

fórmula de Hudson (1959) que sugiere que el manto de escollera debería tener un peso unitario de 13 toneladas, esto evitaría una posible rotura o extracción del manto.

Acudiendo a la fórmula del EurOtop se tiene que modificando el valor del ancho de la berma se reduce en muy poca cantidad los rebases sobre el espaldón.

$$Cr = \min \left[ 1.0; 3.06 \cdot \exp \left( - 1.5 \cdot \frac{G_c}{H_{m0}} \right) \right]$$

La medida de ensanchar el la berma sugiere un nuevo ancho muy elevado y dado el elevado costo de la colocación de un nuevo manto, como se muestra en el anejo de precios, esta solución no sería la mejor opción.

### 4.3.- Solución mixta

---

Como tercera solución se propone una alternativa basada en una fusión entre las dos opciones anteriores. Se propone aumentar la cota del espaldón, en menor medida a lo propuesto en la solución 1, y colocar un manto de bloques sobre el actual que amplíe el ancho de la berma.

Acudimos a la fórmula del EurOtop para el rebase del oleaje. Obtenemos que para un valor de  $q$  inferior a 15 l/s/m.l. una posible combinación sería la de elevar el espaldón 1,75 metros junto con la ampliación en 3,5 metros del ancho de la berma, esto provocaría que los rebases fueran inferiores a los propuestos por el EurOtop.

## 5.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

---

La solución escogida consiste en elevar la cota del espaldón evitando así que los rebases sean excesivos ante un posible escenario de cambio climático.

Por lo tanto como solución se propone elevar la coronación del espaldón 2 metros, alcanzando la cota +10,25 metros. En “Documento 2. Planos” se adjunta la solución elevando el espaldón en dos metros. Dado que el espaldón del dique del puerto de Villajoyosa es de tipo transitable se ha propuesto, elevando la cota del espaldón, mantener el muro de en coronación de 1,25 metros (como el actual) para no evitar así la pérdida de visibilidad al mar por parte de los viandantes. El espaldón estaría hecho de hormigón armado, mediante encofrado metálico y hormigonado in situ.

Así mismo, como se presenta en “Anejo 6. Valoración Económica”, esta solución es la más económica y la que menor plazo de ejecución tendría.

Como se comenta en el apartado anterior, esta modificación en el dique cumpliría con el máximo rebase recomendado según el EurOtop. Pasaríamos de tener, en un

escenario de cambio climático RCP8.5 con una elevación del nivel del mar de 0,67 metros para el periodo 2081 – 2100, un rebase de 65 l/s/m.l. a 14 l/s/m.l.

En la siguiente figura se muestra el cambio que se produciría en el espaldón si esta solución se llevara a cabo. El los 514 metros de espaldón del dique del puerto de Villajoyosa seguirían siendo transitables y poseerían un muro de protección de 1,25 metros de altura que permitiría una visión total si se camina por el espaldón.

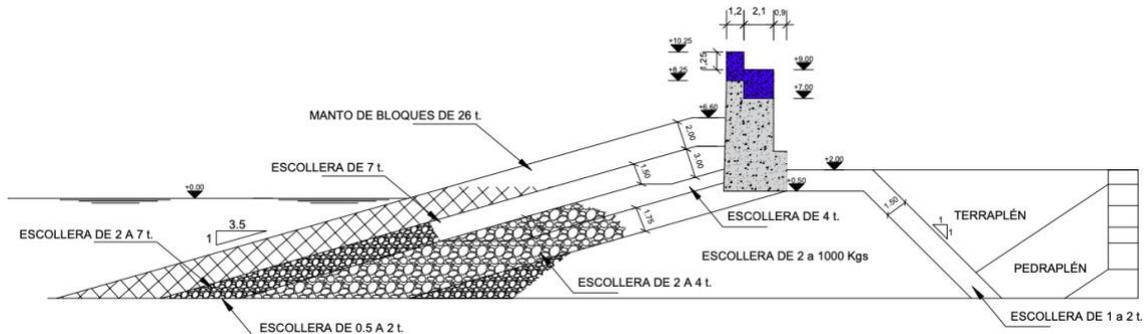


Figura 1. Solución mediante elevación de la cota del espaldón.

Para la solución adoptada se ha calculado los valores de estabilidad frente al vuelco y el deslizamiento. Al incrementar el peso del espaldón, los problemas de inestabilidad frente al vuelco que aparecían en el espaldón para el escenario 1 desaparecen. A continuación se muestra la comprobación con el crecimiento del espaldón, en caso de que no se cumplieran los mínimos de estabilidad se optaría por ensanchar el espaldón consiguiendo así un muro más estable.

En primer lugar calculamos la estabilidad frente al deslizamiento. Para ello usamos la siguiente fórmula:

$$CSD = \frac{\sum F_{est}}{\sum F_{des}} = \frac{\mu * (W - Fv)}{Fh}$$

Luego para el escenario 1:

$$CSD = \frac{1 * \left( 812,1 \frac{Kn}{m} - 78,85 \frac{Kn}{m} \right)}{555,96 \frac{Kn}{m}} = 1,32 > 1$$

Para un posible escenario de cambio climático el nuevo espaldón sería resistente al deslizamiento ya que las fuerzas estabilizadoras son superiores a las desestabilizadoras.

Por último calculamos la estabilidad del espaldón frente al vuelco, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$CSV = \frac{\sum M_{est}}{\sum M_{vol}} = \frac{M_w}{M_h + M_v}$$

Para ello se ha calculado el nuevo momento estabilizador que genera el aumento de peso propio sobre el espaldón, se obtiene lo siguiente:

$$At = 9,75 * 1,2 + 2,1 * 8,5 + 1,1 * 3,9 = 33,84 \text{ m}^2$$

$$Wt = 33,84 * 24 = 812,1 \text{ Kn/m}$$

$$Mw = (9,75 * 1,2 * 24) * 3,8 + (2,1 * 8,5 * 24) * 2,15 + (1,1 * 3,9 * 24) * 0,55$$

$$Mw = 2045 \text{ Kn}\cdot\text{m}$$

$$Mh = Fh * 1/3 H_{\text{espaldón}} = 555,96 * 9,75/3 = 1806 \text{ Kn}\cdot\text{m/m}.$$

$$CSV = \frac{2045 \text{ Kn}\cdot\frac{\text{m}}{\text{m}}}{1806 \text{ Kn}\cdot\frac{\text{m}}{\text{m}} + 231,3 \text{ Kn}\cdot\frac{\text{m}}{\text{m}}} = 1,2 > 1$$

El espaldón del dique del puerto de Villajoyosa a partir de la adaptación al cambio climático, creciendo el espaldón, cumpliría para un escenario RCP8.5 de cambio climático la resistencia frente al vuelco.

Por lo tanto cabe concluir que la solución 1 es la escogida, se trata de la opción más económica, con menos impacto ambiental ya que no interviene en el fondo marino y además cumple con las solicitudes de rebases, extracción del manto y estabilidad frente a vuelco y deslizamiento.

## 6.- CONCLUSIÓN

Como se ha estudiado en este anejo las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa pueden tener tres posibles modos de fallo, el más importante de ellos es el rebase del oleaje sobre el espaldón, lo que puede provocar importantes daños a espaldas del dique.

Con el apartado de estudio de soluciones se ha tratado de proponer unas ciertas medidas que evitarían que se produjeran los posibles modos de fallo en el dique debido al cambio climático.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

## *ANEJO 6. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS SOLUCIONES*

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.- SOLUCIÓN 1</b> .....	<b>4</b>
<b>3.- SOLUCIÓN 2</b> .....	<b>6</b>
<b>4.- SOLUCIÓN 3</b> .....	<b>6</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se pretende elaborar de manera aproximada una valoración económica para las tres posibles actuaciones que se pueden llevar a cabo en las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa. A partir de las mediciones del estudio de soluciones se a calcular el precio de cada medida.

## 2.- SOLUCIÓN 1

La solución 1 como se ha comentado en el anejo anterior, consta de elevar la cota del espaldón en dos metros, coronando esta a la cota +10,25. Esto evitaría para escenarios futuros de cambio climático rebases importantes. Se ha decidido mantener el muro de 1,25 m. de altura para los viandantes dado que esto permite una completa visibilidad además de seguridad ante una posible caída. En la siguiente figura se muestra el cambio. En gris se muestra el espaldón actual y en azul lo que se llevaría a cabo por medio de la actuación.

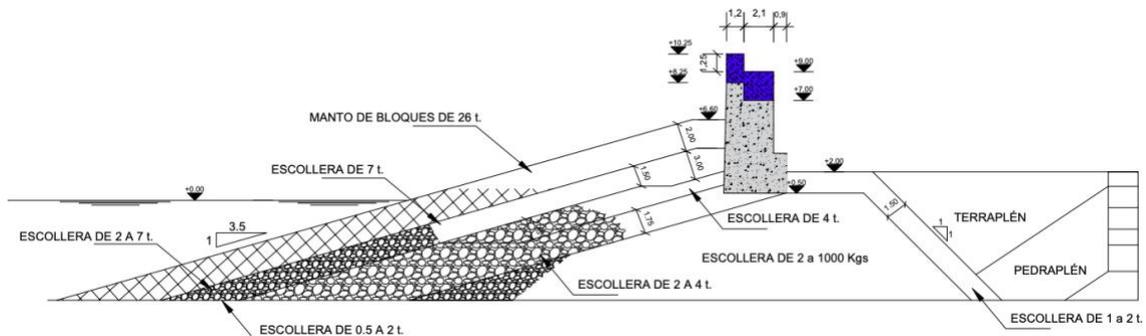


Figura 1. Sección mediante elevación de la cota de coronación del espaldón. Solución 1.

El dique de Levante del puerto de Villajoyosa posee una longitud de 514 metros, los tres tramos del dique poseen un espaldón que corona a +8,25 metros sobre el nivel del mar. A continuación se calcula la medición de esta posible medida de actuación:

$$\text{Área del nuevo espaldón (azul)} = (2 * 1,2) + (2,1 * 2) = 6,6 \text{ m}^2$$

$$L \text{ total de espaldón nuevo} = 514 \text{ metros.}$$

$$\text{Volumen total} = 6,6 * 514 = 3.393 \text{ m}^3.$$

Luego para realizar el espaldón nuevo se necesitarán 3.393 m<sup>3</sup> de hormigón armado a disponer en obra mediante encofrado metálico.

A partir del siguiente cuadro de precios obtenemos el precio del muro en función de los metros cúbicos de hormigón a disponer:

**EHM010**

**m<sup>3</sup> Muro de hormigón.**

Muro de hormigón armado 2C, superficie plana, realizado con hormigón HA-30/B/20/IIIa fabricado en central, y vertido con bomba, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 50 kg/m<sup>3</sup>, ejecutado en condiciones complejas; montaje y desmontaje de sistema de encofrado con acabado tipo industrial para revestir, realizado con paneles metálicos modulares, amortizables en 150 usos. Incluso alambre de atar, separadores, pasamuros para paso de los tensores y líquido desencofrante, para evitar la adherencia del hormigón al encofrado. El precio incluye la elaboración y el montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Materiales</b>			
mt08eme070a	m <sup>2</sup>	Paneles metálicos modulares, para encofrar muros de hormigón de hasta 3 m de altura.	0,044	200,00	8,80
mt08eme075j	Ud	Estructura soporte de sistema de encofrado vertical, para muros de hormigón a dos caras, de hasta 3 m de altura, formada por tornapuntas metálicos para estabilización y aplomado de la superficie encofrante.	0,044	275,00	12,10
mt08dba010d	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua, para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,200	2,19	0,44
mt08var204	Ud	Pasamuros de PVC para paso de los tensores del encofrado, de varios diámetros y longitudes.	2,667	0,93	2,48
mt07aco020d	Ud	Separador homologado para muros.	8,000	0,06	0,48
mt07aco010g	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, de varios diámetros.	51,000	1,22	62,22
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,650	1,10	0,72
mt10haf010Bsa	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-30/B/20/IIIa, fabricado en central.	1,050	85,05	89,30
		<b>Subtotal materiales:</b>			<b>176,54</b>
<b>2</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>			
mq06bhe010	h	Camión bomba estacionado en obra, para bombeo de hormigón.	0,131	170,00	22,27
		<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>			<b>22,27</b>
<b>3</b>		<b>Mano de obra</b>			
mo044	h	Oficial 1º encofrador.	1,650	19,81	32,69
mo091	h	Ayudante encofrador.	1,800	18,78	33,80
mo043	h	Oficial 1º ferrallista.	0,440	19,81	8,72
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0,560	18,78	10,52
mo045	h	Oficial 1º estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,050	19,81	0,99
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,210	18,78	3,94
		<b>Subtotal mano de obra:</b>			<b>90,66</b>
<b>4</b>		<b>Costes directos complementarios</b>			
	%	Costes directos complementarios	2,000	289,47	5,79
Coste de mantenimiento decenal: 11,81€ en los primeros 10 años.					<b>Costes directos (1+2+3+4): 295,26</b>

Precio del hormigón armado a disponer en el nuevo espaldón:

$$\text{Precio} = 295,26 * 3.393 \text{ m}^3 = 1.001.640,01 \text{ EUROS}$$

Luego para la solución 1 se elabora la siguiente valoración económica:

CAPÍTULO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1</b>	Replanteo 1.540,56
<b>CAPÍTULO 2</b>	Reparación del espaldón actual 10.265,32
<b>CAPÍTULO 3</b>	Tareas previas 4.267,08
<b>CAPÍTULO 4</b>	Construcción del nuevo espaldón 1.001.640,01
<b>CAPÍTULO 5</b>	Señalización y balizamiento 12.687,19
<b>CAPÍTULO 6</b>	Seguridad y salud 14.459,15
<b>TOTAL</b>	<b>1.044.859,33</b>

Luego la solución 1, de manera aproximada tendría un coste de ejecución material de 1.044.859,33 EUROS.

### 3.- SOLUCIÓN 2

La solución dos consiste en la colocación de un manto de bloques de hormigón sobre el actual para aumentar así la berma y evitar los rebases. Mediante los cálculos realizados en “Anejo 5. Estudio de soluciones” se obtiene que la nueva capa del manto debe tener más de 8 metros de espesor, luego esta solución queda descartada.

### 4.- SOLUCIÓN 3

La solución 3 consiste en una mezcla entra las dos primeras soluciones, es decir, se pretende elevar la cota del espaldón y colocar un manto de bloques más pequeño que la solución dos. El nuevo espaldón coronaría a la cota +10,00 y la capa del manto sería de 3,5 metros de ancho

Para el manto se tiene lo siguiente:

El dique tiene una longitud de 514 metros. Para calcular el precio de los bloques de hormigón acudimos a la siguiente tabla:

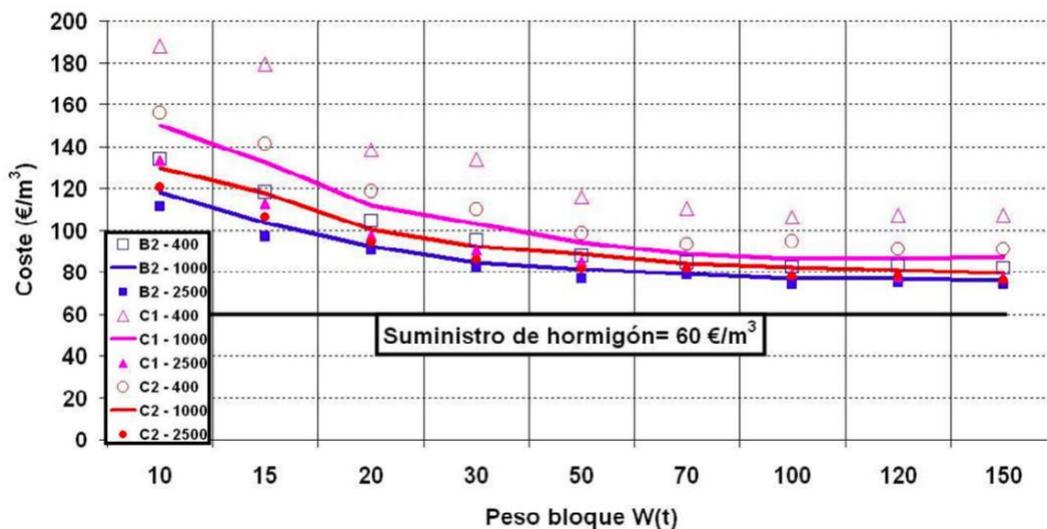


Tabla 1. Coste unitario según la longitud del dique y el peso de la pieza. (Fuente: Cubipod)

Acudiendo a la tabla con los valores de:

W = 26 toneladas

L dique = 514 metros

Manto principal.



## ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYOSA (ALICANTE)



Se obtiene que el precio unitario en metros cúbicos es de 130 €/m<sup>3</sup>.

Las mediciones del manto son las siguientes :

Volumen del nuevo manto:  $3,5 * 24 * 514 = 43.219,82 \text{ m}^3$ .

Precio =  $43.219,82 * 130 = 5.618.577,68 \text{ EUROS}$

A esto se le añade el precio del espaldón que es de  $1,75 * 1,2 + 2,1 * 1,75 = 5,77 \text{ m}^2 * 514 = 2968,35 \text{ m}^3$ .

Precio =  $295,26 * 2968,35 \text{ m}^3 = 876435,02 \text{ EUROS}$

Luego la valoración económica para la solución 3 sería de manera aproximada la siguiente:

<b>CAPÍTULO</b>		<b>IMPORTE</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	Replanteo	3.5620, 56
<b>CAPÍTULO 2</b>	Reparación del manto actual	10.265,32
<b>CAPÍTULO 3</b>	Colocación del nuevo espaldón	876.435,02
<b>CAPÍTULO 4</b>	Colocación del nuevo manto	5.618.577,68
<b>CAPÍTULO 5</b>	Señalización y balizamiento	12.687,19
<b>CAPÍTULO 6</b>	Seguridad y salud	14.459, 15
<b>TOTAL</b>		<b>6.568.044,92</b>

Luego la solución 3, de manera aproximada tendría un coste de ejecución material de 6.568.044,92EUROS.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

## *ANEJO 7. ESTUDIO FOTOGRÁFICO*

---



**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOSA (ALICANTE)**



## ÍNDICE DE IMÁGENES

---

Imagen 1. Vista del tramo 1 del dique de Levante.....	4
Imagen 2. Vista del espaldón a espaldas del dique.....	4
Imagen 3. Vista del contradique (al fondo) barcos de la cofradía de pescadores (al frente).....	5
Imagen 4. Vista de la lonja del puerto desde el espaldón del dique de Levante.....	5
Imagen 5. Vista del tramo 2 del dique. Manto de escollera.....	6
Imagen 6. Unión de los tramos 2 (escollera) y 3 (bloques) del dique de Levante.....	6
Imagen 7. Vista del tramo 3 del dique de Levante. Manto de bloques de hormigón. .....	7
Imagen 8. Detalle del inicio del tramo 3 del dique. Manto de bloques de hormigón sobre escollera.....	7
Imagen 9. Vista del morro del dique. Manto de bloques de hormigón.....	8



Imagen 1. Vista del tramo 1 del dique de Levante.



Imagen 2. Vista del espaldón a espaldas del dique.



Imagen 3. Vista del contradique (al fondo) barcos de la cofradía de pescadores (al frente).



Imagen 4. Vista de la lonja del puerto desde el espaldón del dique de Levante.



Imagen 5. Vista del tramo 2 del dique. Manto de escollera.

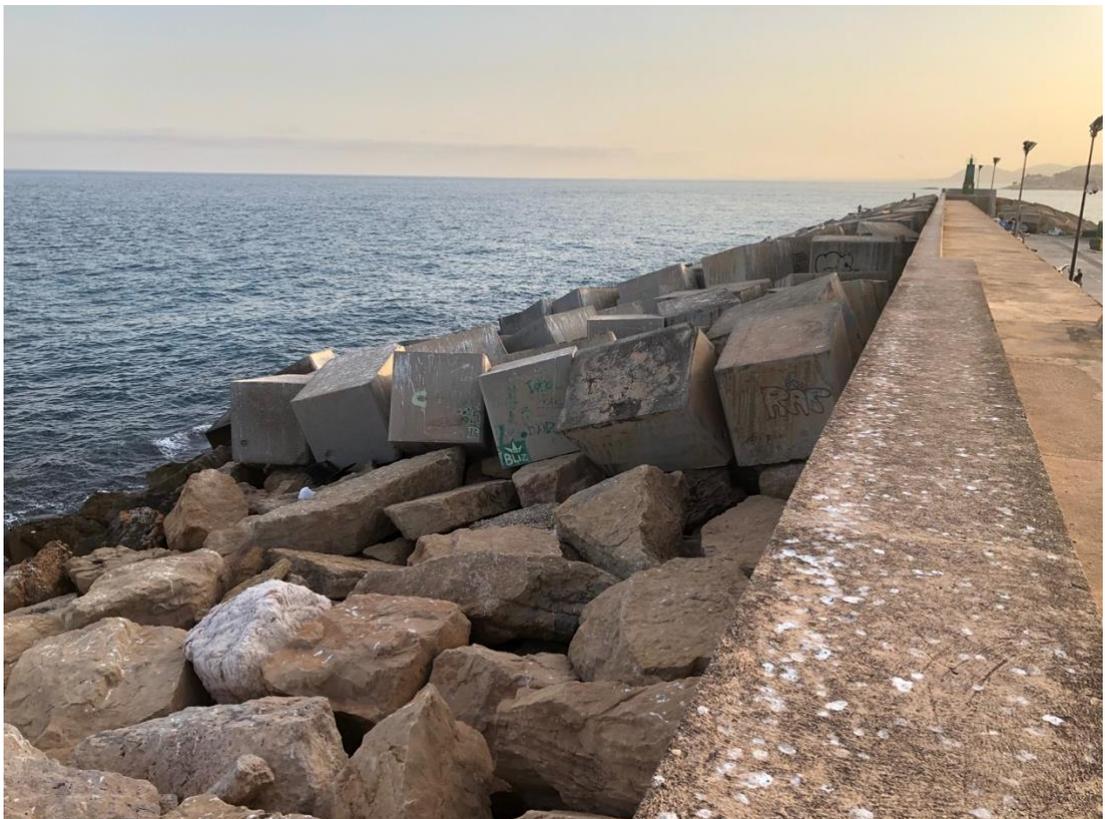


Imagen 6. Unión de los tramos 2 (escollera) y 3 (bloques) del dique de Levante.



Imagen 7. Vista del tramo 3 del dique de Levante. Manto de bloques de hormigón.



Imagen 8. Detalle del inicio del tramo 3 del dique. Manto de bloques de hormigón sobre escollera.

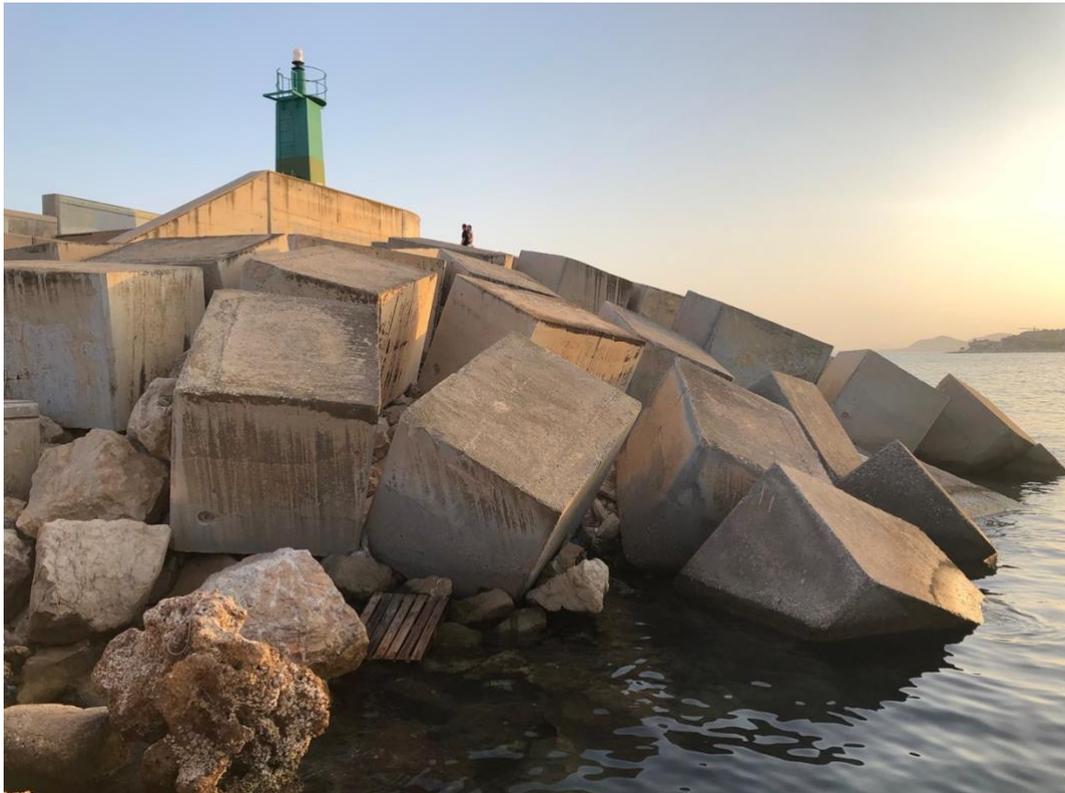


Imagen 9. Vista del morro del dique. Manto de bloques de hormigón.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

# *ANEJO SOBRE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*

---





**ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS  
DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOSA (ALICANTE)**





## ÍNDICE

---

<b>1.- DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.- RELACIÓN DEL TFG CON LOS OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3.- ODS CON GRADO DE RELACIÓN ALTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.- Industria, Innovación e Infraestructura .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.- Ciudades y Comunidades sostenibles .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3.- Acción por el clima.....</b>	<b>6</b>
<b>3.4.- Vida submarina.....</b>	<b>6</b>

## 1.- DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, conocidos también como ODS, consisten en 17 retos cuyo objetivo es acabar con la pobreza, proteger al planeta y garantizar que todas las personas del mundo tengan paz. Es un plan propuesto por Naciones Unidas con el fin de dar continuidad al proyecto previo de Objetivos de Desarrollo del Milenio. Cada objetivo está compuesto por unas metas que describen de manera sencilla los pasos a seguir para cumplir con cada objetivo. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible son los mostrados en la siguiente imagen:



Imagen 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Fuente: Naciones Unidas)

### OBJETIVOS:

1. Fin de la pobreza.
2. Hambre cero.
3. Salud y Bienestar.
4. Educación de calidad.
5. Igualdad de género.
6. Agua limpia y Saneamiento.
7. Energía asequible y no contaminante.
8. Trabajo y Crecimiento económico.
9. Industria, Innovación e Infraestructura.
10. Reducción de las desigualdades.
11. Ciudades y Comunidades sostenibles.
12. Producción y Consumo responsables.
13. Acción por el clima.
14. Vida submarina.
15. Vida de ecosistemas terrestres.
16. Paz, Justicia e Instituciones sólidas.
17. Alianzas para lograr los Objetivos.

## 2.- RELACIÓN DEL TFG CON LOS OBJETIVOS

Con el fin de realizar una relación clara y entendible, se ha elaborado la siguiente tabla que relaciona los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con el presente Trabajo Fin de Grado que tiene como título: “Estudio para la adaptación al cambio climático de las obras de abrigo del puerto de Villajoyosa”.

Objetivos de Desarrollo Sostenible	No corresponde	Bajo	Medio	Alto
1. Fin de la pobreza		X		
2. Hambre cero	X			
3. Salud y Bienestar			X	
4. Educación de calidad	X			
5. Igualdad de género	X			
6. Agua limpia y Saneamiento		X		
7. Energía asequible y no contaminante			X	
8. Trabajo decente y crecimiento económico			X	
9. Industria, Innovación e infraestructura				X
10. Reducción de las desigualdades		X		
11. Ciudades y Comunidades Sostenibles				X
12. Producción y Consumo responsables		X		
13. Acción por el clima				X
14. Vida submarina				X
15. Vida de ecosistemas terrestres		X		
16. Paz, Justicia e Instituciones sólidas	X			
17. Alianzas para lograr los objetivos	X			

Tabla 1. Relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el Trabajo Fin de Grado.

## 3.- ODS CON GRADO DE RELACIÓN ALTO

---

### 3.1.- Industria, Innovación e Infraestructura

---

Un puerto reformado y que cumple con las restricciones de seguridad para el año 2100 trae al pueblo de Villajoyosa un importante reconocimiento a nivel nacional en cuanto a infraestructura ya que supone tener un puerto preparado para los cambios futuros del clima. Este TFG ha tratado de elaborar la solución más rápida, sostenible y económica que puede realizar el puerto de Villajoyosa para prepararse para el cambio climático. Para el año 2100 los niveles del mar ascenderán considerablemente y es necesario invertir en industria e infraestructura para evitar que se produzcan catástrofes debidas al cambio climático.

### 3.2.- Ciudades y Comunidades sostenibles

---

La adaptación del puerto de Villajoyosa propone una solución definitiva, y que prevenga al puerto y al pueblo de Villajoyosa de catástrofes. Este puede ser el primer paso por parte de esta población a ser un lugar de emisiones cero y que no alteren el medio marino.

### 3.3.- Acción por el clima

---

En este TFG se ha desarrollado y explicado en qué consiste el cambio climático, que probabilidades de ocurrencia tiene y en qué escenarios se puede presentar. A través de este trabajo se pretende concienciar de que el cambio del clima es una realidad en nuestro planeta y que si no se toman medidas urgentes la situación puede ser irreversible. Es correcto crear y reformar nuestras obras de abrigo actuales para defenderse del cambio del clima pero es más importante frenar la contaminación y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera para que frenemos el calentamiento global y estas obras de adaptación no sean necesarias.

### 3.4.- Vida submarina

---

Una obra en un dique en la orilla del mar puede provocar vertidos y polvo en la superficie marina, a la hora de escoger la solución se ha tenido muy en cuenta la afección al medio marino por lo que la colocación de un nuevo manto mucho más ancho ha sido descartado. La colocación de un nuevo espaldón dos metros más alta intenta que las obras de adaptación influya lo mínimo posible en el medio marino, ya que no se alteraría el fondo del mar para nada.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

## *DOCUMENTO Nº 2. PLANOS*

---

# ÍNDICE DE PLANOS

---

1.- PLANO 1. SECCIÓN PLANTA Y BATIMETRÍA.

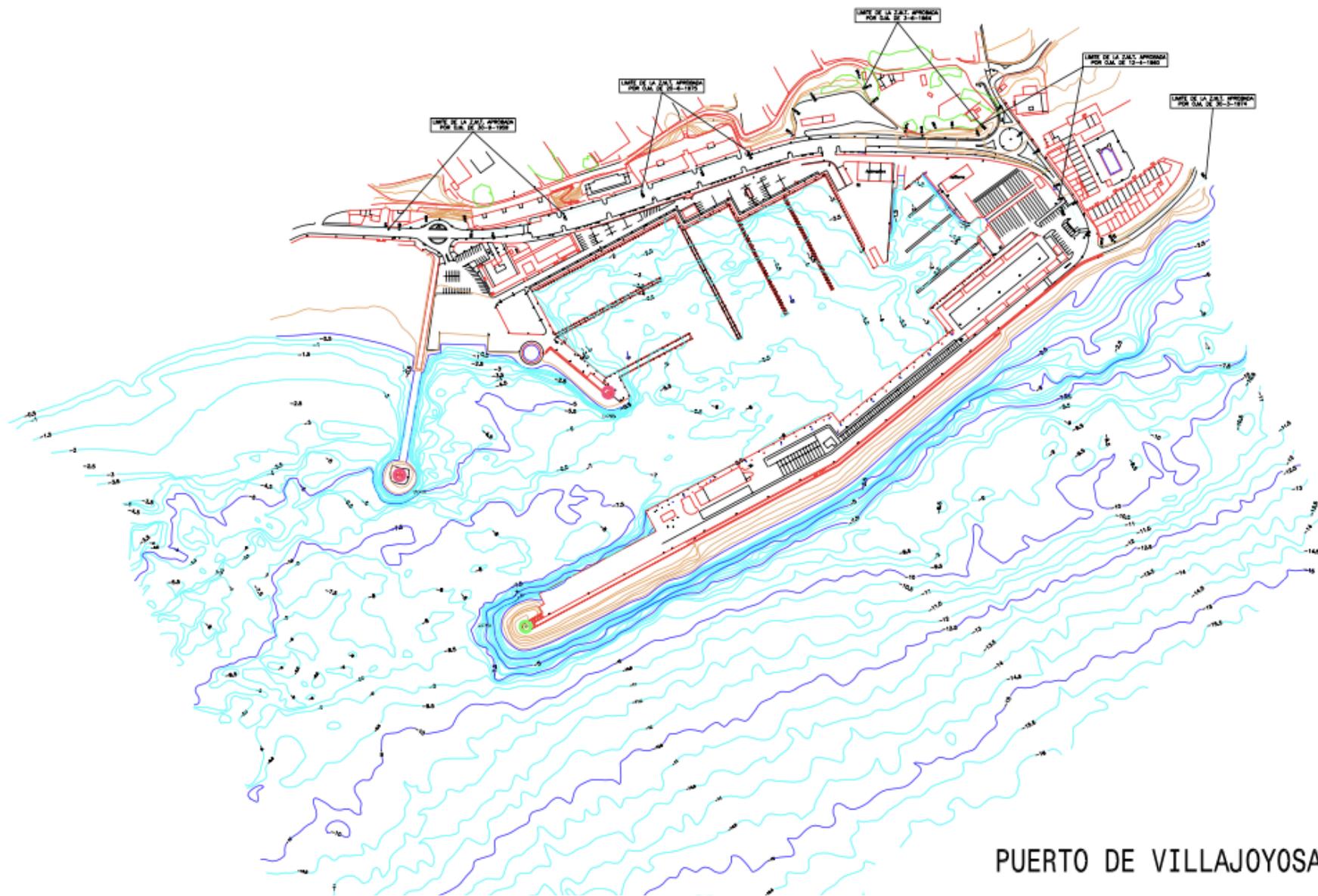
2.- PLANO 2. SECCIÓN TRAMO 1 DIQUE.

3.- PLANO 3. SECCIÓN TRAMO 2 DIQUE.

4.- PLANO 4. SECCIÓN TRAMO 3 DIQUE.

5.- PLANO 5. SECCIÓN CONTRADIQUE.

6.- SECCIÓN SOLUCIÓN 1.



PUERTO DE VILLAJOYOSA

ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE  
ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOYOSA  
(ALICANTE)

RICARDO  
MARTÍNEZ CEREIJO

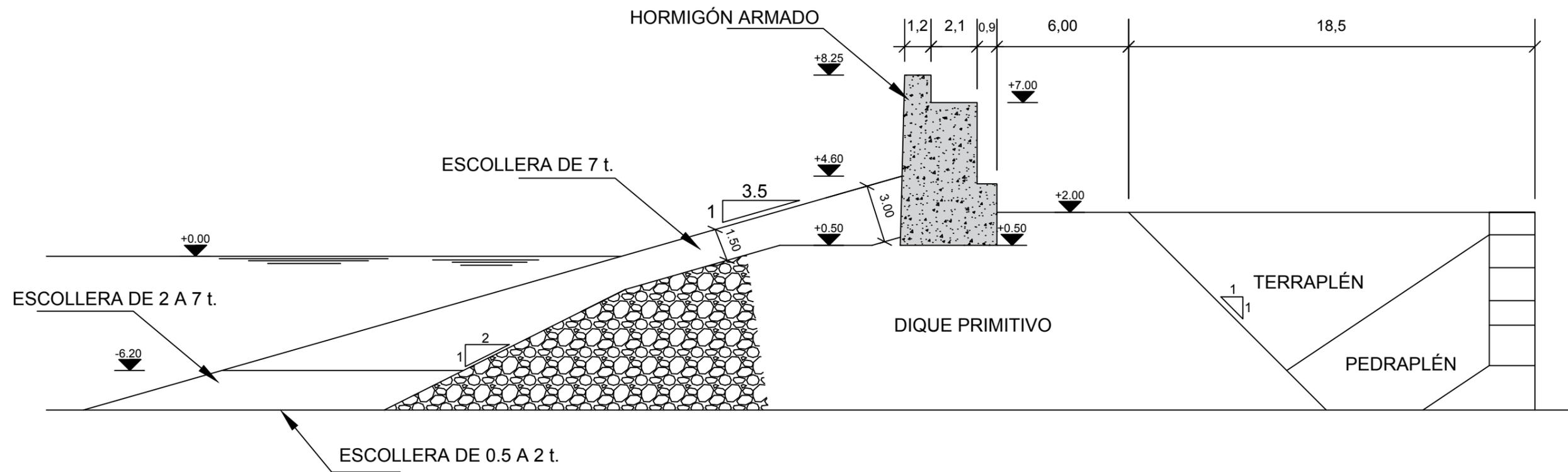
TÍTULO DE PLANO  
SECCIÓN  
PLANTA Y  
BATIMETRÍA

FECHA  
SEPTIEMBRE 2021  
UBICACIÓN  
VILLAJOYOSA  
(ALICANTE)



PLANO Nº1

1:10.000



ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE  
ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA  
(ALICANTE)

RICARDO  
MARTÍNEZ CEREIJO

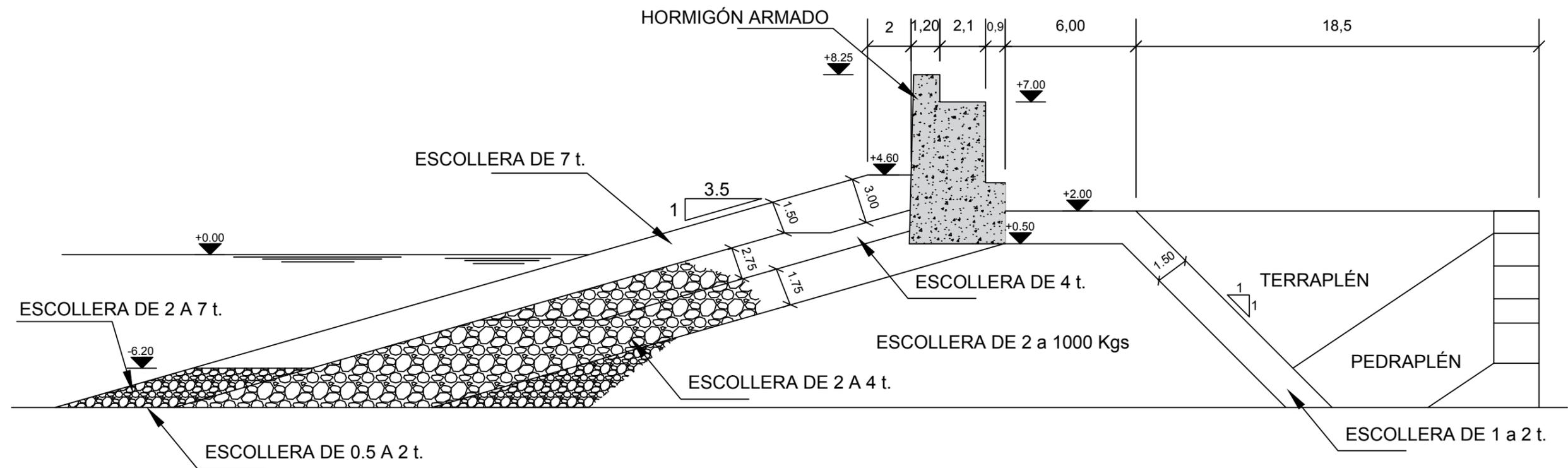
TÍTULO DE PLANO  
SECCIÓN  
TRAMO 1  
DIQUE

FECHA  
SEPTIEMBRE 2021  
UBICACIÓN  
VILLAJYOYOSA  
(ALICANTE)



PLANO Nº2

1:3000



ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJYOYOSA (ALICANTE)

RICARDO MARTÍNEZ CEREIJO

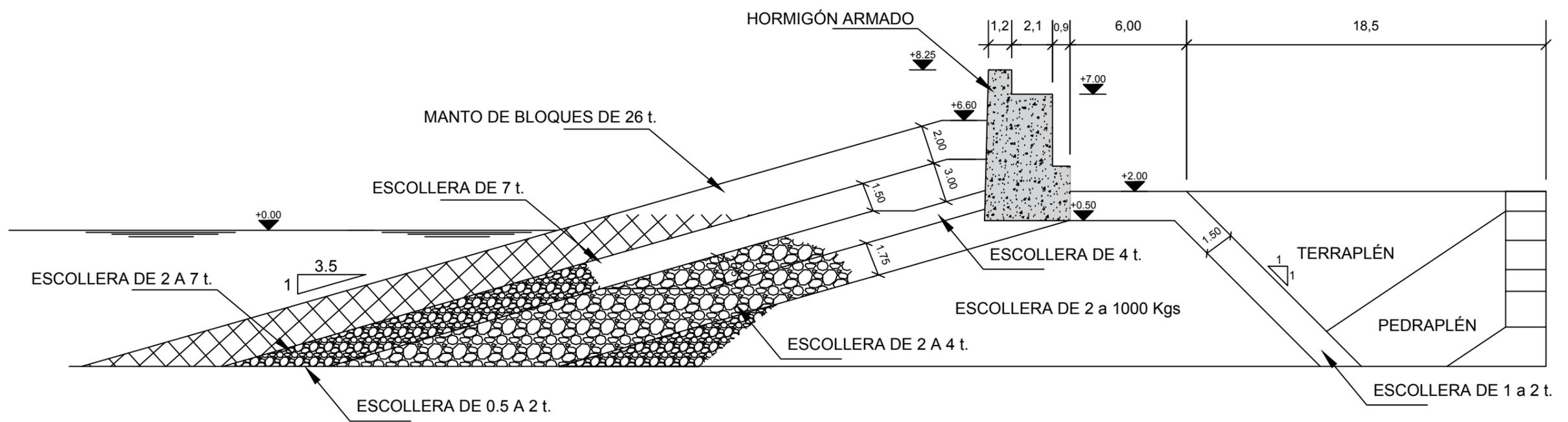


TÍTULO DE PLANO  
SECCIÓN TRAMO 2 DIQUE

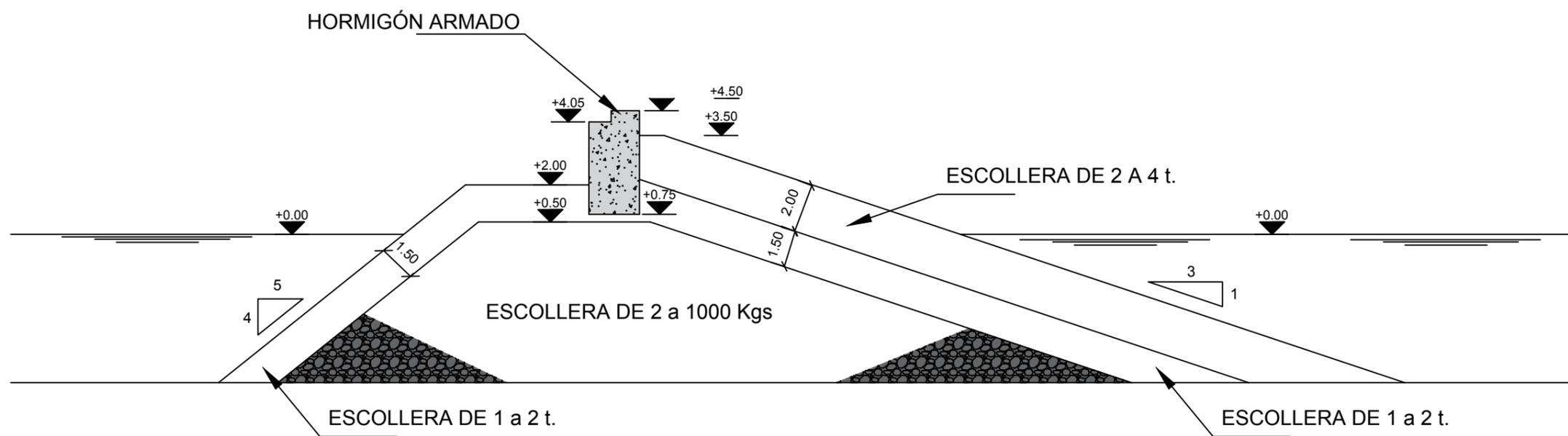
FECHA  
SEPTIEMBRE 2021  
UBICACIÓN  
VILLAJYOYOSA (ALICANTE)



PLANO Nº3  
**1:3000**



ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYA (ALICANTE)	RICARDO MARTÍNEZ CEREIJO 	TÍTULO DE PLANO SECCIÓN TRAMO 3 DIQUE	FECHA SEPTIEMBRE 2021 UBICACIÓN VILLAJOSYA (ALICANTE)		PLANO Nº4
					1:3000



ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE  
ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOSYOSA  
(ALICANTE)

RICARDO  
MARTÍNEZ CEREIJO

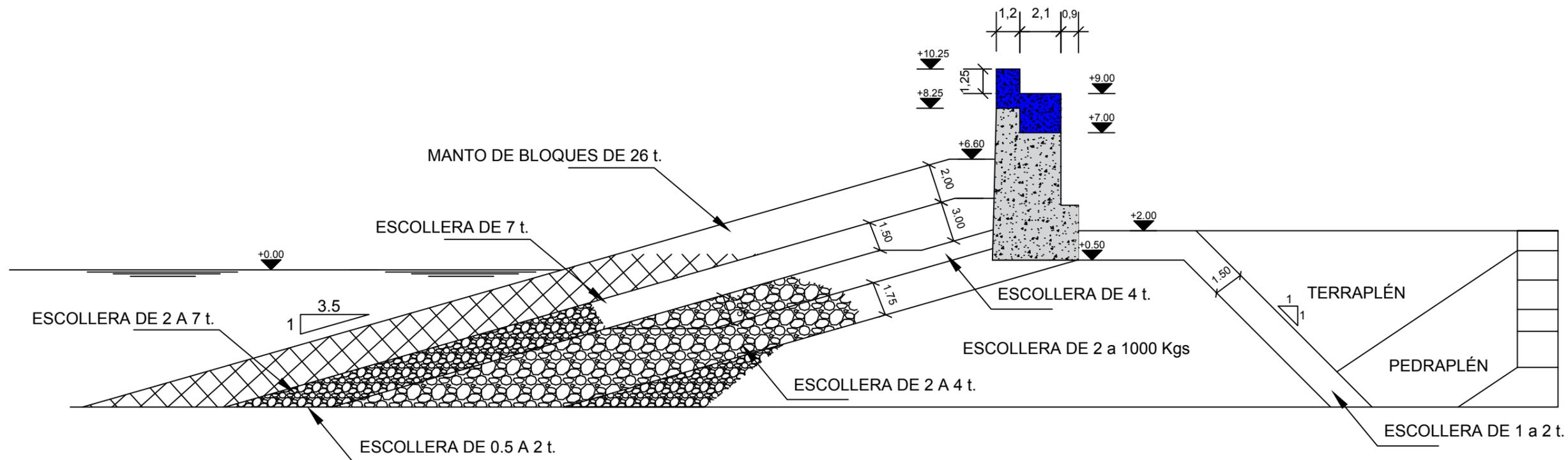
TÍTULO DE PLANO  
SECCIÓN  
CONTRADIQUE

FECHA  
SEPTIEMBRE 2021  
UBICACIÓN  
VILLAJOSYOSA  
(ALICANTE)



PLANO N°5

1:3000



ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE  
ABRIGO DEL PUERTO DE LA VILLAJOYOSA  
(ALICANTE)

RICARDO  
MARTÍNEZ CEREIJO

TÍTULO DE PLANO  
SECCIÓN  
SOLUCIÓN 1

FECHA  
SEPTIEMBRE 2021  
UBICACIÓN  
VILLAJOYOSA  
(ALICANTE)



PLANO N°6

1:3000