



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio para la adaptación al cambio climático de las obras
de abrigo del puerto de Gandía (Valencia)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Villaret Sánchez, Pablo Julen

Tutor/a: Esteban Chaparria, Vicent de

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

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

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

AUTOR: Pablo VILLARET

TUTOR: Vicent de Esteban Chapapría





ÍNDICE

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

ANEJO 1: CAMBIO CLIMÁTICO.

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

ANEJO 3: CLIMA MARÍTIMO.

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

ANEJO 5: ESTUDIO DE MODOS DE FALLO DE LA OBRA DE ABRIGO.

ANEJO 6: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.

ANEJO: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS



DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA





ÍNDICE DE LA MEMORIA

<i>1.- INTRODUCCIÓN</i>	7
<i>2.- CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL</i>	7
<i>3.- CAMBIO CLIMÁTICO Y SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR</i>	9
<i>4.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO</i>	12
4.1.- Ubicación	12
4.2.- Usos	13
4.3.- Historia y usos del Dique Norte	14
4.4.- Batimetría	15
4.5.- Tramos del Dique Norte	16
<i>5.- CLIMA MARÍTIMO</i>	18
5.1- Régimen de vientos	18
5.1- Oleaje	21
5.3- Nivel del mar	21
<i>6.- CAMBIO CLIMÁTICO Y PUERTO DE GANDÍA</i>	21
6.1.- Propagación del oleaje con nuevo nivel del mar	22
<i>7.- INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CLIMA MARÍTIMO</i>	24
<i>8.- MODOS DE FALLO DE LAS OBRAS DE ABRIGO</i>	24
8.1.- Rebase del espaldón	25
8.2.- Pérdida de las unidades del manto principal	25
8.3.- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento	26
<i>9.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS</i>	28
9.1.- Alternativa 1: Aumentar el ancho de coronación	29
9.2.- Alternativa 2: Aumentar la altura y volumen del espaldón	30
9.3.- Alternativa 3 : Solución mixta	30
<i>10- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS</i>	31
10.1- Matriz de análisis multicriterios	31
10.2- Valoración económica	32



11.- CONCLUSIÓN

33

12.- BIBLIOGRAFÍA

34





1.- INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento es el desarrollo del Trabajo Final de Grado de Pablo Villaret Sánchez alumno del Grado de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos. En él se ha incluido la información básica habitual de los proyectos incluyendo: Memoria, anejos, planos y valoración económica.

Respecto al alcance de este documento hay que tener en cuenta que al tratarse de un trabajo académico se dan ciertas limitaciones en comparación con un proyecto real.

El objeto de este proyecto es el estudio del Dique Norte del puerto de Gandía y sus adaptaciones frente a la subida del nivel del mar debido al cambio climático.

En este estudio se va a determinar cuales son las consecuencias del calentamiento global, las consecuencias sobre el puerto de Gandía y las posibles soluciones que se pueden plantear.

Para este efecto, primero se expondrá lo que se entiende por cambio climático y cuáles son las instituciones responsables de su seguimiento. Luego se presentará el puerto de Gandía en su globalidad y se hará especial hincapié sobre el Dique Norte.

Una vez presentado el puerto se hará un breve estudio del clima marítimo para poder estimar el oleaje a pie de dique y de esa forma calcular las fuerzas responsables de los principales modos de fallo de los elementos del dique, a saber, el manto y el espaldón.

Para concluir se hará un breve estudio de soluciones proponiendo medidas para mitigar las acciones del cambio climático, así como la relación del proyecto con los objetivos de desarrollo sostenibles presentados por las Naciones Unidas.

2.- CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El calentamiento global es el aumento a largo plazo de la temperatura atmosférica media del sistema climático de la Tierra debido a la intensificación del efecto invernadero. Es un aspecto primordial del cambio climático actual, demostrado por la medición directa de la temperatura, el registro de temperaturas del último milenio y de varios efectos del calentamiento global ya visibles.

En el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se presentan conclusiones claras sólidas de una evaluación global de la ciencia del cambio climático, entre las cuales destaca que ahora la ciencia demuestra con una seguridad del 95 por ciento que la actividad humana es la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. En el informe se confirma que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y que muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios: la atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las

concentraciones d gases de efecto invernadero han aumentado. Cada uno de los tres últimos decenios han sido sucesivamente más cálidos en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850.

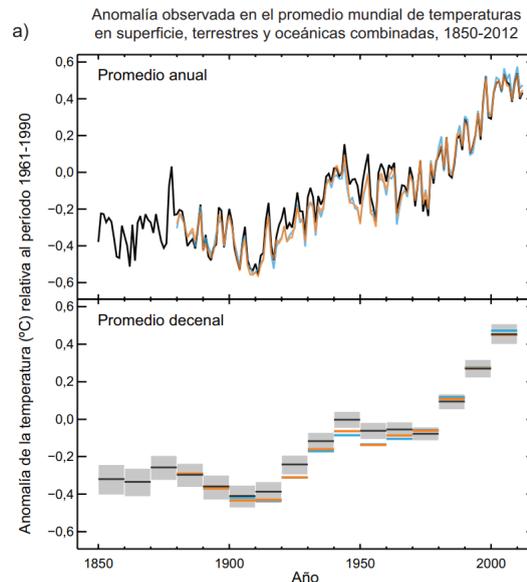


Imagen 1: Evolución de la temperatura global en los últimos 150 años. (Fuente: IPCC)

En el pasado, ha habido variaciones históricas en el clima de la Tierra, pero las que están ocurriendo actualmente lo están haciendo a un ritmo sin precedentes que no puede ser explicado por causa natural alguna, por lo que, según la evidencia científica del calentamiento global, este drástico cambio solo puede deberse a la desmedida actividad humana de los últimos tiempo. La mayor influencia humana ha sido la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno. Las proyecciones de modelos climáticos resumidos en el AR5 indicaron que durante el presente siglo la temperatura superficial global subirá probablemente 0,3 a 1,7 °C para su escenario de emisiones más bajas usando mitigación estricta y 2,6 a 4,8 °C para las mayores. Estas conclusiones han sido respaldadas por las academias nacionales de ciencia de los principales países industrializados y no son disputadas por ninguna organización científica de prestigio nacional o internacional.

b) Cambio observado en la temperatura en superficie, 1901-2012

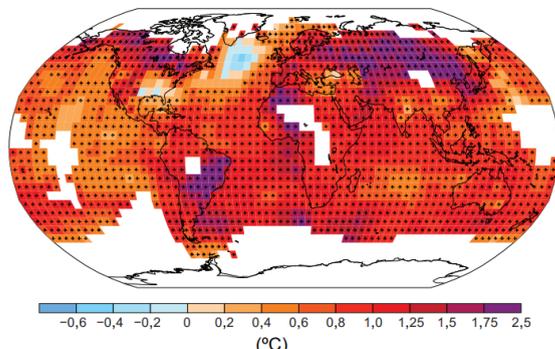


Imagen 2: Cambio observado en la temperatura en superficie. (Fuente: IPCC)

El cambio climático futuro y los impactos asociados serán distintos en una región a otra alrededor del globo. Los efectos anticipados incluyen un aumento en las

temperaturas globales, una subida en el nivel del mar, un cambio en los patrones de las precipitaciones y una expansión de los desiertos subtropicales. Se espera que el calentamiento sea mayor en la tierra que en los océanos y que el más acentuado suceda en el Ártico, con el continuo retroceso de los glaciares, el permafrost y la banquisa. Otros efectos probables incluyen fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes, tales como olas de calor, sequías, lluvias torrenciales y fuertes nevadas; acidificación del océano y extinción de especies debido a regímenes de temperatura cambiantes. Entre sus impactos humanos significativos se incluye la amenaza a la seguridad alimentaria por la disminución del rendimiento de las cosechas y la pérdida de hábitat por inundación. Debido a que el sistema climático tiene una gran inercia y los gases de efecto invernadero continuarán en la atmósfera por largo tiempo, muchos de estos efectos persistirán no solo durante décadas o siglos, sino por decenas de miles de años.[1]

3.- CAMBIO CLIMÁTICO Y SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR

El aumento del nivel del mar es un fenómeno que comenzó en el siglo XX como resultado del calentamiento global. El nivel medio del mar aumentó 20 cm entre 1901 y 2018, y el ritmo se está acelerando hasta superar los 3,5 mm anuales en 2020 según el quinto informe del IPCC. Las mediciones se realizaron por dos medios principales: los mareógrafos, que son instalaciones fijas, y la altimetría por satélite.

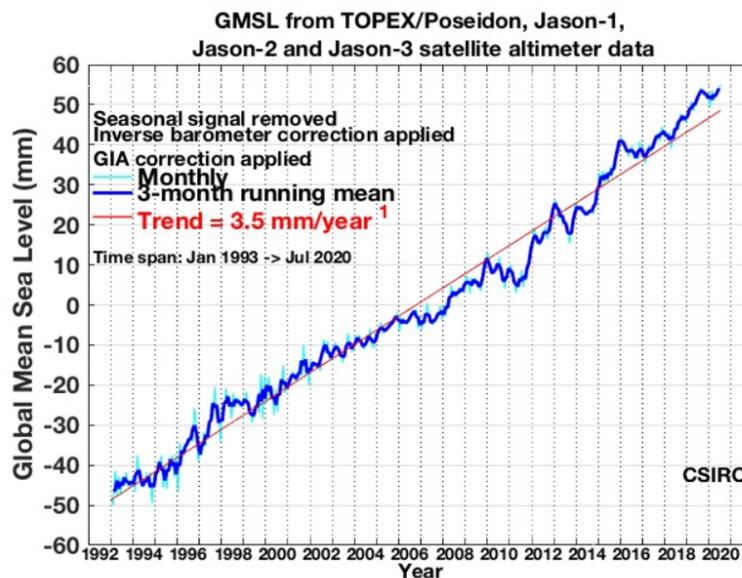


Imagen 3: Evolución del nivel medio global del nivel del mar por satélite de 1992-2020. (Fuente: Sea Level rise-CSIRO)

A pesar del intento del ser humano para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, los océanos son los que están moderando sus efectos. Efectivamente, absorben más del 90% del calor liberado por los gases y por lo tanto 2021 fue un año récord de calentamiento de los océanos.

Dos fenómenos relacionan el clima con el nivel del mar. El primero es el deshielo de

una parte de los hielos continentales (capas de hielo polares y glaciares de montaña), que representa alrededor del 50% de la subida actual. El segundo es el efecto de la expansión térmica del agua de los océanos como consecuencia del aumento de la temperatura. Ambos fenómenos son muy lentos: tardan siglos en reaccionar plenamente a un aumento brusco de la temperatura. Por esta razón, el nivel del mar apenas ha empezado a responder al calentamiento global, y seguiría subiendo a lo largo del tercer milenio aunque se pudiera detener.

Además de estos dos efectos principales, otros fenómenos, no necesariamente relacionados directamente con el calentamiento global, también están contribuyendo al aumento actual. El más significativo es el agotamiento de los acuíferos sobreexplotados en los continentes.

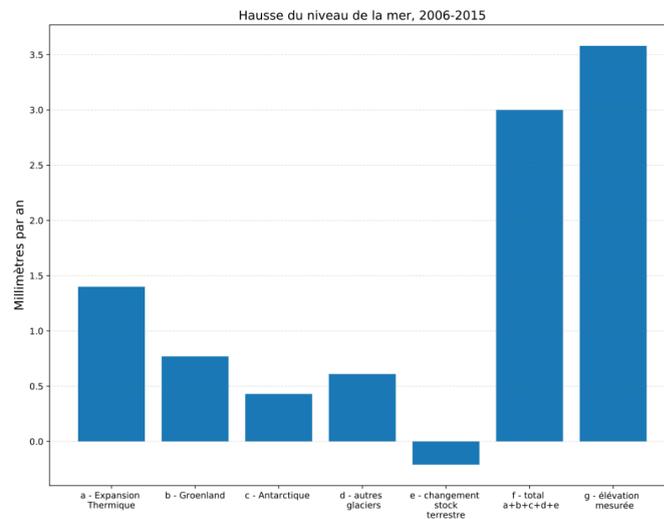


Imagen 3: Contribución a la elevación del nivel del mar, a-expansión térmica, c-otros glaciares, e-cambio en el stock terrestre, g-elevación medida . (Fuente: 6th report of IPCC)

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático plantea varias posibilidades de evolución respecto a la emisiones de carbono.

Una trayectoria de concentración representativa (RCP, por sus siglas en inglés) es una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero adoptada por el IPCC. Se utilizaron cuatro trayectorias para la modelización del clima y la investigación para el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC en 2014. Las trayectorias describen diferentes futuros climáticos, todos los cuales se consideran posibles dependiendo del volumen de gases de efecto invernadero emitidos en los próximos años. Los RCP originalmente RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5 están etiquetados a partir de un posible rango de valores de forzamiento radiativo en el año 2100 [2]

En la siguiente tablas se muestra el aumento de temperatura así como la elevación del nivel del mar estimada en función de las trayectorias:

	2046-2065	2081-2100
Escenario	Media y rango probable(C·)	Media y rango probable(C·)
RCP2.6	1.0 (0.4 a 1.6)	1.0 (0.3 a 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 a 2.0)	1.8 (1.1 a 2.6)
RCP6	1.3 (0.8 a 1.8)	2.2 (1.4 a 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 a 2.6)	3.7 (2.6 a 4.8)

Tabla 1.1: Proyecciones de aumento del calentamiento global (°C) (quinto reporte del IPCC)

	2046-2065	2081-2100
Escenario	Media y rango probable(m)	Media y rango probable(m)
RCP2.6	0.24 (0.17 a 0.32)	0.40 (0.26 a 0.55)
RCP4.5	0.26 (0.19 a 0.33)	0,47 (0,32 a 0,63)
RCP6	0.25 (0.18 a 0.32)	0.48 (0.33 a 0.63)
RCP8.5	0.30 (0.22 a 0.38)	0.63 (0.45 a 0.82)

Tabla 1.2: Proyecciones de aumento del nivel medio mundial del mar (metros) (quinto reporte del IPCC)



Imagen 3. Ubicación del puerto en el plano del municipio. (Fuente: Google maps)

4.2.- Usos

El puerto de Gandía atiende un tráfico de carga general, con un alto grado de especialización en la manipulación de mercancías como: bobinas y pasta de papel, paquetes de madera, productos siderúrgicos, chapas y varillas de hierro, productos perecederos y fruta refrigerada de exportación e importación. Asimismo, atiende otros tráficos que utilizan el puerto de manera puntual: otros productos siderúrgicos, mármoles, automóviles, maquinaria, etc., y que tienen principalmente como punto de origen o destino industrias situadas en su hinterland.^[3]

Los usos principales del puerto son Puerto comercial, Puerto deportivo y Puerto pesquero.

Datos Tráfico 2015	
Mercancía	Total
Granel sólido	701 toneladas
Mercancía General no containerizada	363.565 toneladas
Mercancía General containerizada	17.640 toneladas
Pesca	1.338 toneladas
Total tráfico	385.242 toneladas
Total TEU	1.594 TEU

Tabla 1. Datos del tráfico marítimo de Gandía. (Fuente: Wikipedia)

4.3.- Historia y usos del Dique Norte

El dique Norte se construyó a la vez que el resto del puerto en el año 1883, no se modificó hasta que un gran temporal en diciembre de 1890 causó grandes averías.

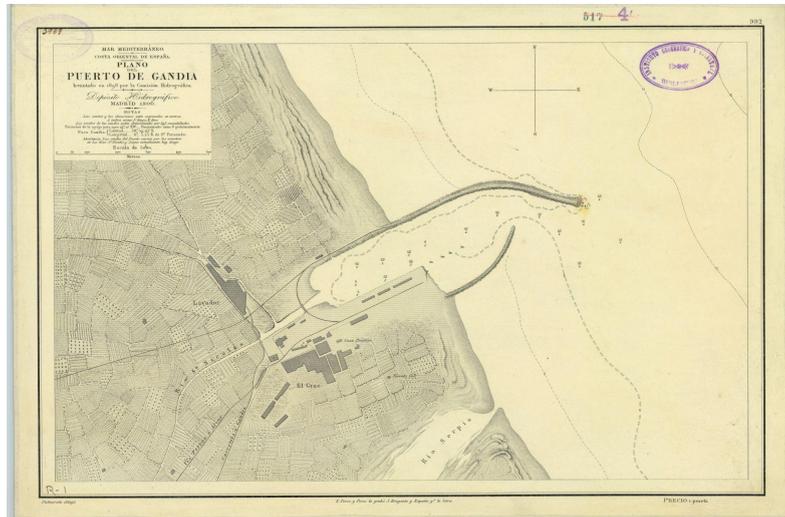


Imagen 6. Plano del puerto de Gandía en 1900. (Fuente:IGN)

A raíz de ese temporal se aumentaron las secciones transversales y su trazado en planta fue modificado.

En 1935 se decide prolongar el dique de 150 a 200 metros, así como dragar (a la cota -6) el puerto y construir unos nuevos muelles. No se pudieron llevar a cabo esas actuaciones por causa de la guerra civil hasta el año 1972, actuaciones que mejoraron sustancialmente las condiciones de abrigo de los interiores del puerto.

Después de esa prolongación, el dique Norte se quedó dividido en dos tramos distintos con una longitud total de 1100 m; el primero de 312 m de longitud que comienza en la playa de Gandía y cuya finalidad es la de proteger la dársena y el segundo tramo de 788 m que protege la entrada del puerto.

Debido a grandes temporales de 1980, se definió una serie de actuaciones para reforzar el dique que se había visto dañado, la mayor actuación consistió en el vertido de cantos de escollera de 6T para conseguir un talud de 3/1.

En la actualidad, el dique está dividido en tres tramos (11,12,13) como se puede apreciar en la imagen 7.1.

GANDIA PLANTA GENERAL

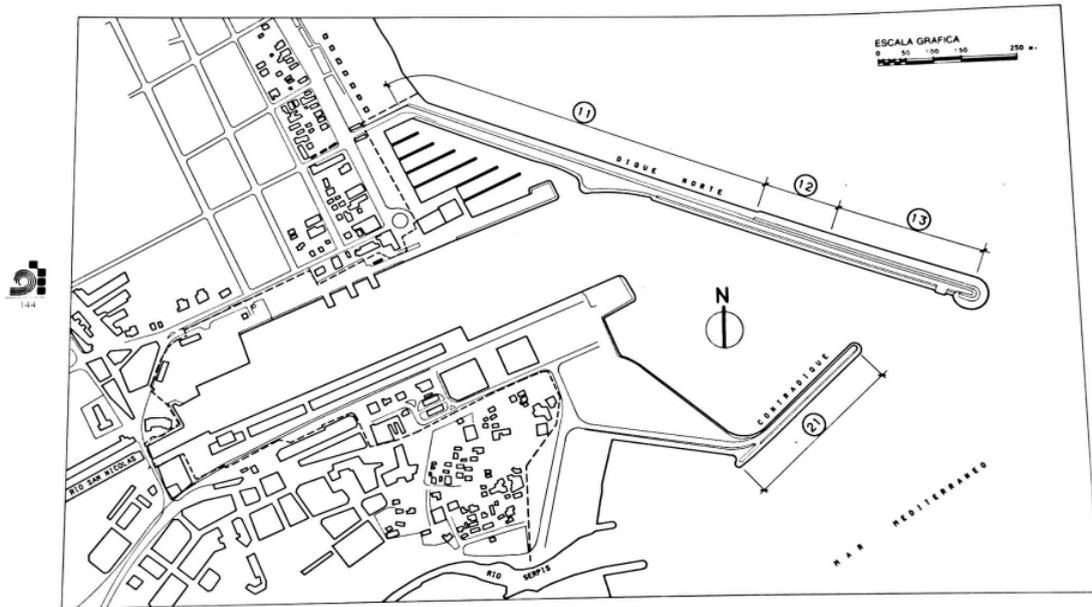


Imagen 7.1. Plano del puerto de Gandia. (Fuente:MOPU)

4.4.- Batimetría

Los calados en el interior de la dársena del puerto de Gandía varían en función de los diferentes muelles y servicios.

Se tiene como calado máximo de 3 metros en el puerto deportivo (situado al norte-oeste, próximo al tramo 1 del dique norte), el más bajo del puerto como es de esperar.

Los muelles pesqueros y fruteros tienen un calado de aproximadamente 5,6 metros, mientras que el muelle Serpis admite un calado máximo de 11 metros, entendible debido a la necesidad de recibir grandes embarcaciones.

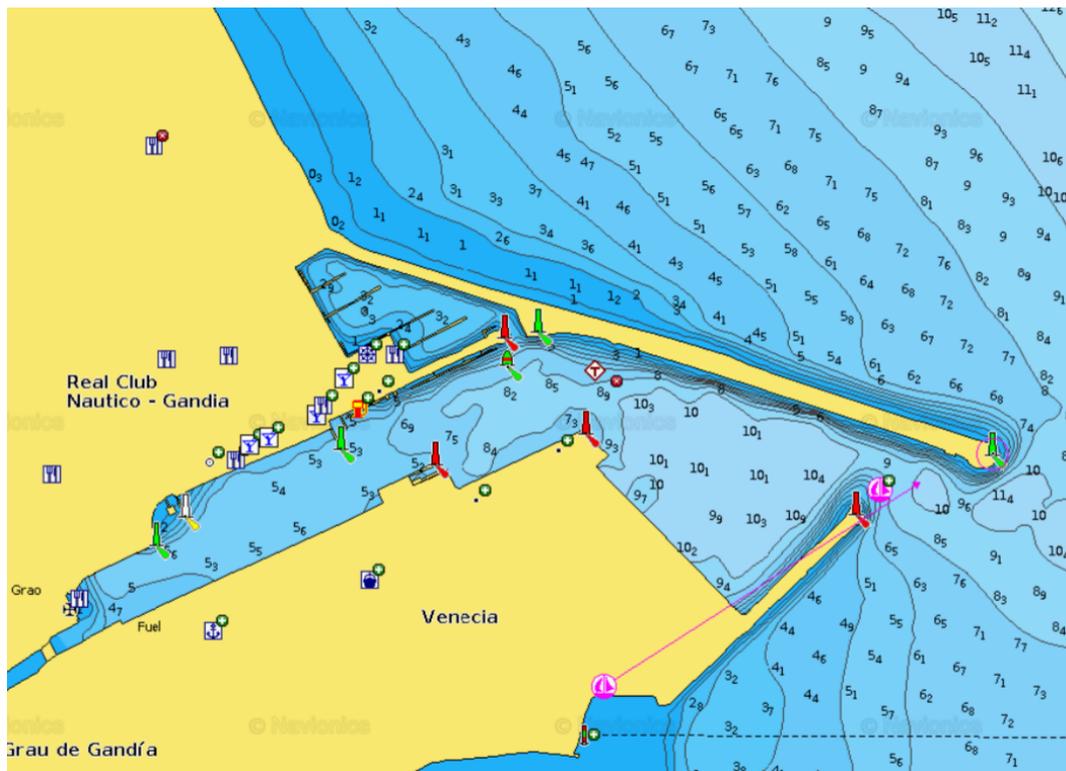


Imagen 12. Batimetría del puerto de Gandía. (Fuente: Navionics)

Las profundidades máximas a pie de dique y contradique (lado mar) son las siguientes:

- Tramo 1: 2,6 metros.
- Tramo 2: 5,4 metros.
- Tramo 3: 6,8 metros.
- Contradique: 6,5 metros.

4.5.- Tramos del Dique Norte

Tramo 1:

El tramo 1 del dique de Gandía tiene una longitud de 690 metros, es un dique de abrigo en talud sin berma de coronación. Se diseñó para una altura de ola (H) a pie de obra de 4,53m, 6,57 m en aguas profundas y un periodo (T) de 13,80s.

El manto principal está compuesto por escollera de 6 toneladas y con un peso específico de $2,6 \text{ t/m}^3$. El talud es de 2/1 con una cota superior variable entre +4 y +6.

El manto secundario está compuesto por escollera de entre 75 kg-1,5 T

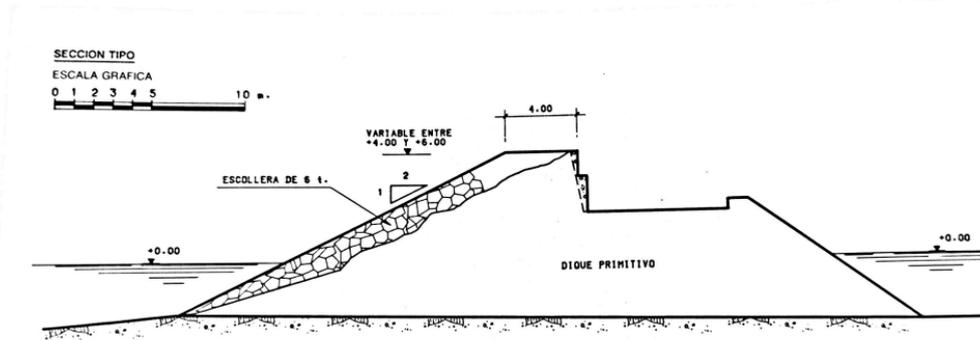


Imagen 8. Sección del tramo 1 del dique de Norte. (Fuente: MOPU)

Tramo 2:

El tramo 2 del dique Norte (imagen 9) tiene una longitud de 140 metros, es un dique de abrigo en talud con una profundidad máxima en BMVE de 7.5m y un espaldón con cota de coronación a +9.00.

El manto principal está compuesto por escollera de 6 toneladas con un talud 3/1. Posee una berma a la cota 4,75 de 2,2m de ancho.

El manto secundario está compuesto de dos capas. La primera con escollera de 1,5-6t con un talud de 3/1 y la segunda con escollera de 0,075-1,5t y de talud 3/2.

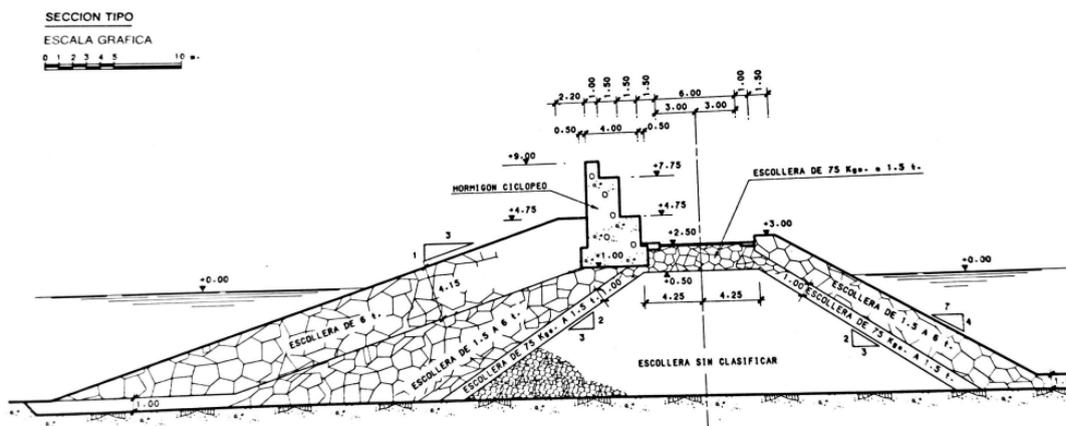


Imagen 9. Sección del tramo 2 del dique Norte. (Fuente: MOPU)

Tramo 3:

El tramo 3 del dique de Norte (imagen 11) tiene una longitud de 270 m con una profundidad de BMVE de 8.00, una cota de coronación a +9.00. Como los tramos anteriores es un dique de abrigo en talud. Se calculó con una altura de ola (H) en aguas profundas de 6,57 m y 6,24 m a pie de obra, como periodo (T) se tomó 13,8 s.

El manto principal está compuesta por bloques de hormigón de 24 toneladas, con unas dimensiones de 2,00*2,00*2,60 m y 2,3 t/m³ de peso específico. El talud es de 3/1 con una berma de 2,20 de ancho a cota +4,75. Los bloques en el morro tienen las mismas características con la diferencia de pesar 36 toneladas y de dimensión 2,40*2,40*2,80 m³

El Manto secundario compuesto de dos capas de escollera con peso respectivo de 1,5-6t y 0,075-1,5t, talud de 3/1 y 3/2

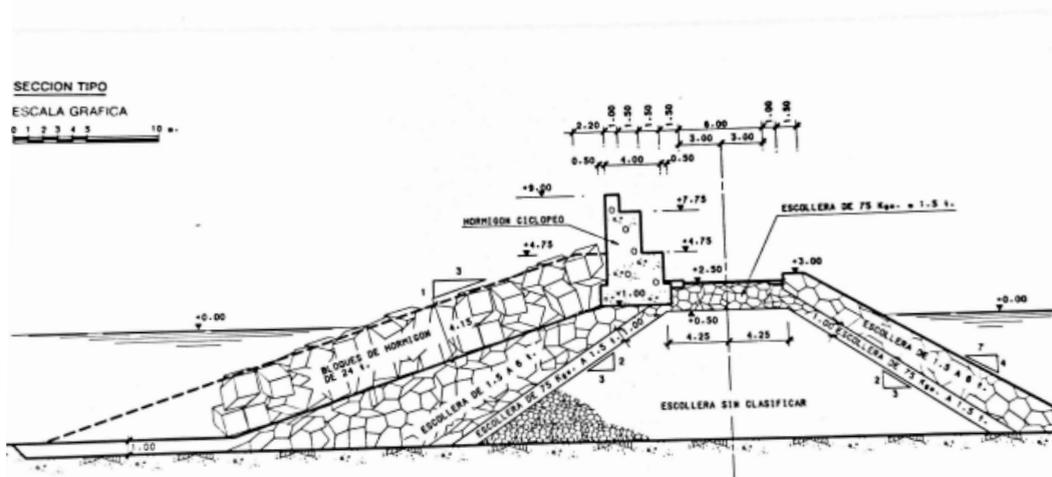


Imagen 11. Sección del tramo 3 del dique Norte. (Fuente:MOPU)

5.- CLIMA MARÍTIMO

El objetivo del presente anejo es realizar el estudio y análisis de las condiciones del clima marítimo en las inmediaciones del Puerto de Gandía, para poder posteriormente calcular los efectos de la subida del nivel del mar sobre el dique Norte.

Para el desarrollo de este estudio, la integridad de los datos se han obtenido de la página web de Puertos del Estado (<https://puertos.es>)

5.1- Régimen de vientos

Es importante identificar la dirección y la velocidad del viento dado que es uno de los factores importantes en la generación del oleaje.

Como se puede apreciar en la imagen 3, la mayor distancia donde el viento puede generar oleaje sin obstáculo es de aproximadamente 980km para la dirección NE, como se va a poder ver más adelante con los datos de la boya de Valencia, y corresponde efectivamente con la dirección de oleaje principal para régimen extremal. También se aproxima a las consideraciones de diseño del dique norte, que se ha construido para un fetch de 900 km y de dirección ENE, según el libro *Diques de abrigo en España, volumen 3*

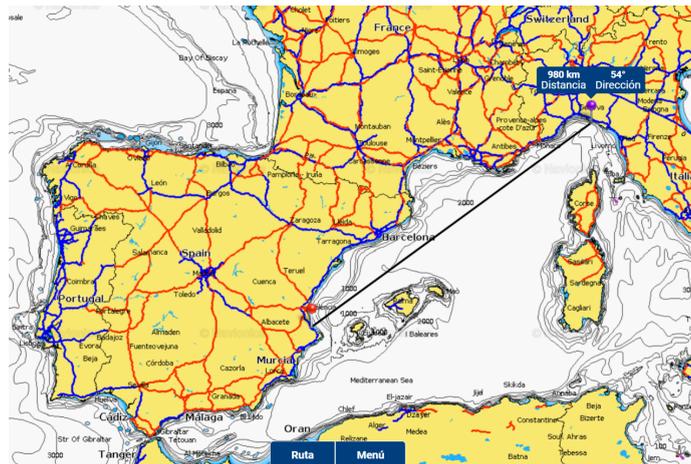


Imagen 3. Fetch hasta el puerto de Gandía. (Fuente: Navionics)

El nodo SIMAR nos indica cuales son las direcciones de viento predominantes. Gráficamente es fácil destacar que las direcciones predominantes son Este, Este-Norte-Este. También existen velocidades elevadas procedentes del Norte-Norte-Este.

La velocidad más habitual es de 4 m/s y muy pocas veces por encima de 10 m/s

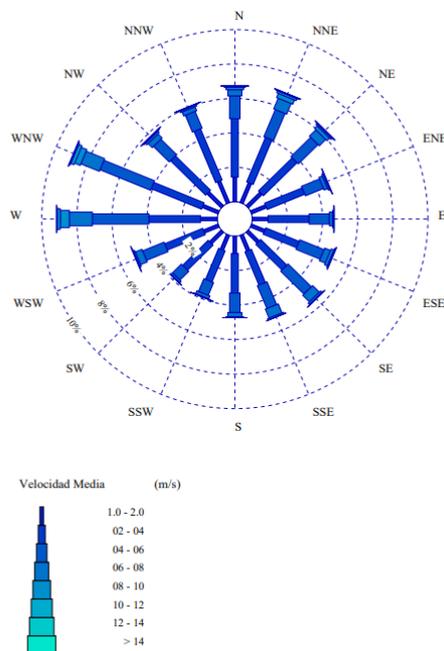


Imagen 4: Procedencia de los vientos (fuente : Puertos del estado)

Como es de esperar, el periodo donde el viento alcanza una velocidad por encima de la media anual se sitúa entre diciembre y febrero, con una velocidad entre 6-8 m/s de frecuencia 10%

5.2- Oleaje

Gracias a los datos proporcionados por la boya de Valencia, se ha determinado que la altura de ola significativa proviene mayoritariamente de la dirección Este-Norte-Este, seguido de la dirección Norte-este y Este. Por lo tanto, estas son las direcciones para las que se estudian las gráficas con el parámetro de no excedencia de Weibull para determinar el Hs.

Para el régimen medio, se tiene las siguientes alturas de ola significativa asociadas a los periodos picos:

Dirección predominante	Altura de ola (m)	Periodo pico (s)
ENE (67,5°)	3,2	7,55
NE (45°)	4	8,31
E (90°)	2	6,17

Tabla 2. Dirección predominante régimen medio (Fuente: Elaboración propia)

La seguridad y la operatividad de una instalación en la costa puede estar condicionada por la acción del oleaje en situación de temporal. Es decir, en situaciones en las que la altura del oleaje alcanza una intensidad poco frecuente. Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta altura significativa de ola.

La obtención de la altura de ola significativa para el régimen extremal viene determinada por el periodo de retorno, el cual viene influenciado por varios factores como el índice de repercusión económica, el índice de repercusión social y la vida útil.

En el caso del dique del puerto de Gandía, se ha estimado un periodo de retorno de 475 años, por lo que se toma Hs igual 13,47 asociado a un periodo de pico (Tr) de 14,01 s.

5.3- Nivel del mar

La obtención del nivel medio del mar se ha logrado 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.

El mareógrafo nos proporciona el siguiente esquema donde se puede apreciar el

máximo nivel observado para el puerto de Gandía (marea meteorológica + marea astronómica) igual a 0,68 metros.

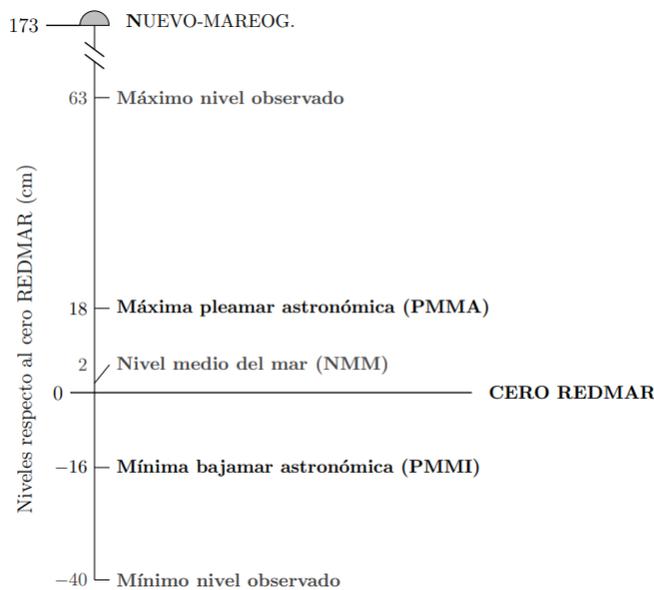
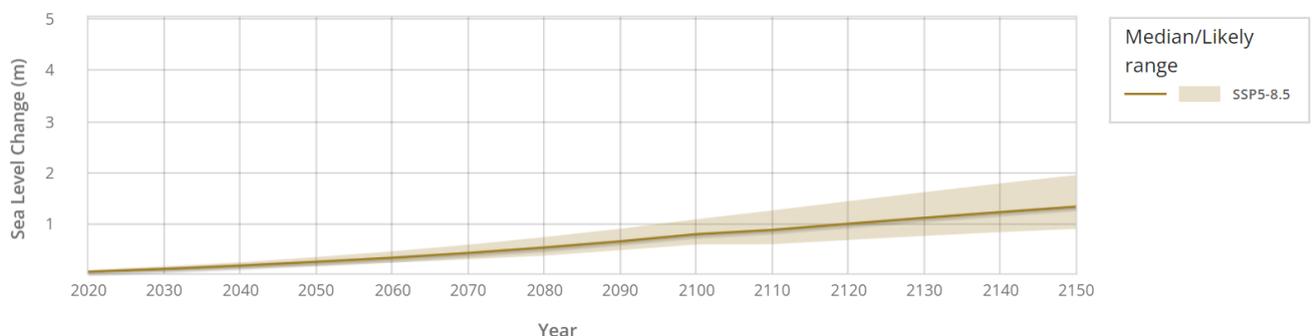


Imagen 4 Principales referencias del nivel del mar y las mareas actuales. (Fuente: Puertos del Estado)

6.- CAMBIO CLIMÁTICO Y PUERTO DE GANDÍA

Cómo expuesto anteriormente en el apartado *Cambio climático*, se proyecta un aumento considerable del nivel del mar en la próxima década. Dado que hemos calculado un Hs para una vida útil de 50 años, se estima el aumento del nivel para el año 2070 gracias a los cálculos realizados por el panel intergubernamental para el cambio climático y especialmente con el visor proporcionado por la NASA (*IPCC AR6 Sea Level Projection Tool*).



Gráfica 6. Proyección de la subida del nivel del mar en Valencia. (Fuente: Sea level.NASA.org)

Con las tablas y los datos que nos proporciona la herramienta se toma **0,44 m** como valor para la subida del nivel del mar en los próximos 50 años.

6.1- Propagación del oleaje con nuevo nivel del mar

Los estudios de propagación del oleaje permiten conocer las modificaciones de la altura de ola significativa desde aguas profundas hasta el emplazamiento del punto de medida considerado.

Es necesario saber la dirección de incidencia del oleaje para su propagación. Por ello, se ha consultado anteriormente la rosa de oleaje y se ha identificado cuáles son las direcciones principales para el régimen medio y el extremal.

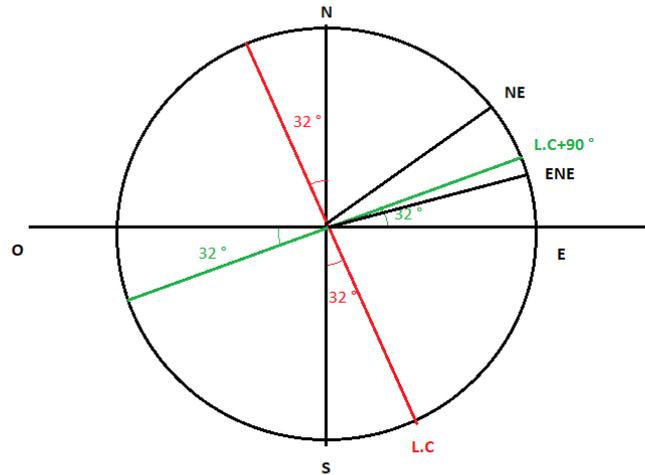


Imagen 7.2. Ángulo de la línea de costa, perpendicular y coordenadas. (Fuente: Elaboración propia)

Se tiene como direcciones principales Norte-Este, Este-Norte-Este, Este. Primero se traza la línea de costa con la ayuda de navionics y su perpendicular, luego se hallan los ángulos de incidencia con respecto a las direcciones principales.

Dirección	Grados respecto al norte	Grados respecto a L.C+90
NE	45°	13°
ENE	67,5°	10,5°
ENE	90°	32°

Tabla 7. Ángulo de incidencia . (Fuente: Navionics)

Para estimar la propagación del oleaje, se usa el programa CRESS (Coastal and River Engineering Support System) desarrollado por la universidad de DELFT.

En la siguiente tabla se recogen los resultados proporcionados por el programa.

Para h se ha tomado : **Altura a pie de dique + carrera de marea más alta registrada + subida del nivel del mar**. Se ha utilizado el valor de 7 m para altura de pie actual, la cual corresponde con las más desfavorable de todo el dique, a saber, el tramo 3.

El valor de H_0 se calculó anteriormente.

	ENE	NE	E
H0 (m)	3,2	4	2
Periodo pico (s)	7,55	8,31	6,17
Profundidad a pie de dique(m) (2020)	7	7	7
Subida nivel del mar (m)	0,44	0,44	0,44
Máxima altura registrada de marea (m)	0,68	0,68	0,68
Profundidad a pie de dique (m) estimada (2070)	8,12	8,12	8,12
θ (°)	13	10,5	32
Altura de ola a pie de dique (m)	2,99	3,83	1,77

Tabla 8. Altura de ola a pie de dique en régimen medio . (Fuente: elaboración propia)

En régimen extremal, se ha calculado la altura de ola a pie de dique solo para la dirección Norte-Este dado que es la que produce la mayor altura de ola significativa con diferencia respecto a las otras direcciones.

Los valores son los mismos excepto para la altura de ola y el periodo pico, siendo sustancialmente más altos que los del régimen medio por el alto periodo de retorno calculado.

	NE
H0 (m)	13,47
Periodo pico (s)	14,01
Profundidad a pie de dique (m) (2020)	7
Subida nivel del mar (m)	0,44
Máxima altura registrada de marea (m)	0,68
Profundidad a pie de dique (m) estimada (2070)	8,12
θ (°)	10,5
Altura de ola a pie de dique (m)	15,43
Altura corregida por rotura (m)	6,33

Tabla 9 Altura de ola a pie de dique en régimen extremal. (Fuente: elaboración propia)

La altura de ola que se tomará para los cálculos de fallo de la estructura será la más

desfavorable, es decir, la ola generada por los grandes temporales. Tenemos $H_s = 6,33$ m.

7.- INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CLIMA MARÍTIMO

En el presente apartado se desarrolla la influencia del cambio climático en el mar mediterráneo, teniendo en cuenta los cambios que pueden sufrir la altura de ola significativa, la dirección predominante del oleaje, el periodo pico y sobre todo la subida del nivel del mar.

Para esta labor, se tiene a disposición el documento “*Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española*” del instituto de hidráulica ambiental de la universidad de Cantabria así como el visor C3E para tener una representación gráfica de lo expuesto.

Se desarrolla más en profundidad este apartado en el ANEJO 4. *INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CLIMA MARÍTIMO ACTUAL*

Tras haber estudiado el cambio en:

- La dirección principal de oleaje
- La altura de ola significativa
- El periodo pico
- Nivel del mar

Se puede afirmar que el cambio principal a tener en cuenta para los cálculos de modo de fallo es la variación del nivel del mar, notablemente superior al resto. Como calculado en el apartado 4.2 de *Clima marítimo*, se toma 0,44 m para dicho valor.

8.- MODOS DE FALLO DE LAS OBRAS DE ABRIGO

En este apartado se establecen los potenciales modos de fallo que se pueden producir debido al cambio climático y su efecto más adverso, que como hemos visto anteriormente, es la subida del nivel del mar.

En este estudio no se va a realizar una verificación de cada uno de los modos de fallo expuestos anteriormente sino los que tienen una relación directa con la altura de ola significativa y la subida del nivel del mar con un modo de fallo instantáneo, a saber:

- Pérdida de las unidades del manto principal y rotura de los mismos al ser desplazado o arrastrado por la acción de las olas. Esta modalidad de fallo es generalmente gradual, progresiva en las piezas masivas, aumentando en rigidez en función de los tipos de unidad de trabazón.
- Movimiento del espaldón, condicionado por la acción directa de la altura de ola máxima o los efectos del oleaje transmitido a través de los huecos del manto en el

movimiento libre del fluido entre las capas. Es un modo de fallo instantáneo.

- El clásico modo de fallo funcional es el rebase. Muchos diques se diseñan admitiendo un nivel de caudal de descarga de agua por encima del manto y espaldón determinado.

Se analizan los tramos 2 y 3 del Dique Norte, teniendo cada uno un manto superior distinto. Respecto al calado a pie de dique, se tienen los siguientes datos:

Dique Norte	Profundidad a pie de dique (m) (2020)	Subida nivel del mar (m)	Máxima altura registrada de marea (m)	Profundidad a pie de dique (m) estimada (2070)
Tramo 3	7	0,44	0,68	8,12
Tramo 2	6	0,44	0,68	7,12

Tabla 2. Profundidad a pie de dique

8.1.- Rebase del espaldón

En este apartado se va llevar a cabo el cálculo de rebase, entendido como el volumen de agua que pasa por encima del espaldón. Dado que es un dique rompeolas y que su fallo no supone un peligro para la vida humana, el rebase se considera que afecta al estado límite de servicio (ELS).

Las fórmulas disponibles son proporcionadas por el *EurOtop, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*, el cual se encuentra en su segunda edición. Para un dique en talud con manto de bloques o escollera y espaldón, la fórmula es la siguiente:

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

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

El caudal calculado para el tramo 2 es de 2,45 l/s/m.l y el caudal para el tramo 3 es de 8,12 l/s/m.l. El valor máximo de rebase permitido en este caso según las tablas del manual es de 15 l/s/m.l.

En este caso el puerto de Gandía si cumple con las restricciones de rebase propuestas por el EurOtop (2018). Por lo tanto ninguna actuación es necesaria.

8.2.- Pérdida de las unidades del manto principal y rotura de los mismos

En general, los mantos principales de los diques en talud suelen diseñarse en base a formulaciones empíricas basadas en ensayos físicos a escala reducida con semejanza

de Froude. La fórmula que ha venido empleándose tradicionalmente es la fórmula de Hudson popularizada por el Shore Protection Manual-SPM (1975, 1984), que incluye un coeficiente de estabilidad (K_D) que depende del tipo de pieza (escollera, tetrápodos, cubos, etc.):

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

A continuación se muestran las tablas con el peso teórico de la escollera del manto:

H(m)	γ_r (kg/m ³)	γ_w (kg/m ³)	α (o)	K_D	W (Kg)
5,55	2600	1025	19,4	5	5.642,7

*Tabla 3. Peso teórico de escollera del manto superior del tramo 2.
(Fuente: Elaboración propia)*

El peso determinado por la fórmula de Hudson es de 8,6 toneladas aproximadamente. En la actualidad, en el tramo 2 está colocada escollera de 6 toneladas, por lo que no haría falta una obra de adaptación.

H(m)	γ_r (kg/m ³)	γ_w (kg/m ³)	α (o)	K_D	W (Kg)
6,33	2600	1025	19,4	6	10.665

*Tabla 3. Peso teórico de escollera del manto superior del tramo 3.
(Fuente: Elaboración propia)*

El peso determinado por la fórmula de Hudson es de 10,6 toneladas aproximadamente. En la actualidad, en el tramo 3 están colocados bloques de hormigón de 24 toneladas, por lo que no hace falta ninguna obra de adaptación.

8.3.- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento

A continuación se lleva a cabo el estudio de vuelco y deslizamiento del espaldón. La inestabilidad es producida en mayor parte por el oleaje que viene a impactar directamente la estructura. Como la fuerza horizontal ejercida sobre el espaldón crece proporcionalmente con la altura de ola significativa y como se ha determinado que esta última se ve afectada por el cambio climático, es relevante calcular la resistencia del espaldón con nuestros nuevos parámetros.

Los modos de fallo convencionales en espaldones son el deslizamiento, el vuelco y la fisuración.

Deslizamiento:

El deslizamiento es el modo de fallo más típico. Este ocurre cuando la fuerza horizontal actuante



es mayor al rozamiento del espaldón con el terreno. Debido a que depende del rozamiento este modo fallo, se sabe que va ligado al peso propio del espaldón W . Para estar en condiciones de estabilidad la siguiente ecuación debe satisfacerse:

$$(W - \Sigma F_v)\mu \geq \Sigma F_h$$

Tenemos para calcular la fuerza horizontal las siguiente fórmulas:

$$F_h = \frac{F_{h0.1\%}}{(0.5\rho g C_h^2)} = 3.6 + 0.6 \cdot \log Q \quad Q_{MM} = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$$

Se halla una fuerza horizontal de **376,141 KN** para el tramo 2 y **489,381 KN** para el tramo 3.

Tenemos para calcular la presión vertical la siguiente fórmulas:

$$P_b F = \frac{P_b F_{h0.1\%}}{(0.5\rho g C_h)} = 0.02 \cdot \left(\frac{F_c}{L_{op}}\right)^{-1/2}$$

$$L_{0m} = g T_m^2 / (2\pi)$$

La magnitud que se obtiene con esta fórmula es una presión (N/m^2), por lo que se tiene que multiplicar por la mitad de la anchura del espaldón para obtener la fuerza vertical (anchura del espaldón igual a 5 m).

Se halla una fuerza vertical de **79,231 KN** para el tramo 2 y **79,231 KN** para el tramo 3.

Se halla un coeficiente de seguridad frente al deslizamiento de 1,43 en el tramo 2 y de 1,1 en el tramo 3, por lo que ambos cumplirían con la normativa.

Vuelco:

En cuanto al vuelco, este ocurre cuando los momentos estabilizadores, correspondientes al peso de la estructura, son menores que los estabilizadores debidos a la acción del oleaje:

$$M_w \geq \Sigma M F_h + \Sigma M F$$

Para el momento debido a las fuerzas horizontales, tenemos la siguiente fórmulas:

$$M_h F = \frac{M_{h(Fh0.1\%)}}{(\rho g C_h^3)} = 1.08 + 0.18 \cdot \log Q$$

$$Q_{MM} = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$$

El momento debido a las fuerzas horizontales es para el tramo 2 es de :

1 532, 496 kN*m/m

El momento debido a las fuerzas horizontales es para el tramo 3 es de :

1 908, 100 kN*m/m

Para el momento debido a las fuerzas verticales, lo podemos calcular de la forma tradicional ya que la distribución de fuerzas verticales corresponde a una carga progresiva:

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

Se multiplica por $\frac{2}{3}$ la fuerza vertical desde el punto de vuelco del espaldón.

El momento debido a las fuerzas verticales para el tramo 2 es de :

264,103 kN*m/m

El momento debido a las fuerzas verticales para el tramo 3 es de :

264,103 kN*m/m

Se halla un coeficiente de seguridad frente al vuelco de 0,93 en el tramo 2 y 0,77 en el tramo 3.

Por medio de este análisis, se ha llegado a la conclusión de que sería necesario hacer algunas obras de adaptación para conseguir un coeficiente de seguridad al vuelco aceptable.

9.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

A continuación, se proponen tres alternativas con el fin de adaptar la sección del dique norte al cambio climático. Se realiza un análisis multicriterios con factores estéticos, técnicos, funcionales, ambientales y económicos y se escoge la solución que mejor puntuación obtiene en la matriz de soluciones. Cabe destacar que el siguiente anejo no es un estudio de soluciones como se podría encontrar en un auténtico proyecto, sino que el objetivo es dar una idea global de la situación, por lo que no se va a desarrollar extensivamente las descripciones.

Las soluciones para reducir el momento horizontal se reparten en dos tipos; las soluciones que se desarrollan para reducir el caudal de rebase q , y las que se desarrollan para aumentar la cota del espaldón C_h .

Por otra parte, tenemos la posibilidad de aumentar el momento estabilizador (generado en su totalidad por el peso del espaldón) para equilibrar el coeficiente de

seguridad frente al vuelco.

A continuación se resume las soluciones en el siguiente diagrama:

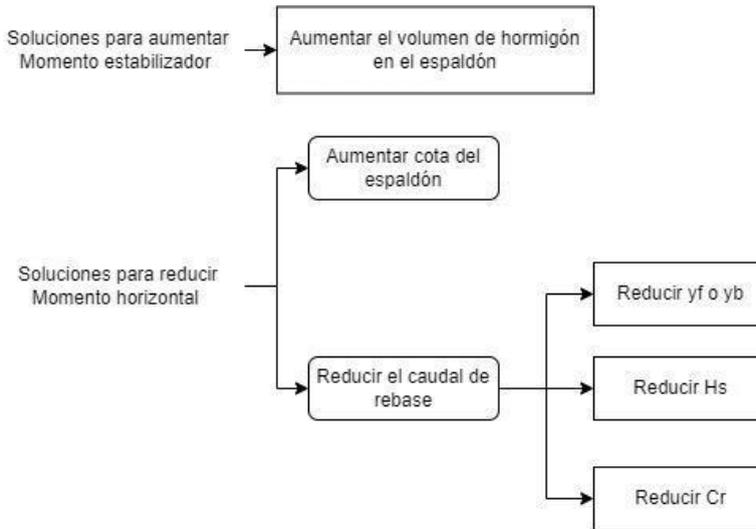


Diagrama 1. Soluciones para aumentar el CSV.

Se toma un coeficiente de seguridad frente al vuelco y frente al deslizamiento de 1,1.

9.1.- Alternativa 1: Aumentar el ancho de coronación

El aumento del ancho de coronación es la primera solución propuesta para reducir el caudal de rebase y así reducir las fuerzas horizontales. En este caso lo que se busca es reducir Cr aumentando el ratio Gc/H_{m0} .

Para obtener un CSV aceptable, se calcula el Cr siguiente, seguido de Gc :

Tramo	q (l/s/m.l)	CSV	Cr	Gc (m)
2	0,94	1,1	0,60	6
3	1,09	1,1	0,20	10

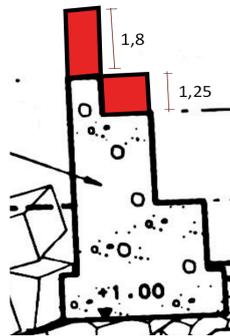
Tabla 1. Nuevo ancho de coronación (fuente: elaboración propia)

Para no tener que hacer una ampliación del manto superior por evidentes motivos económicos, se tendría que hacer una operación de retranqueo del espaldón. Se puede ver en las siguientes imágenes cómo quedaría el dique después de esta actuación. El tramo 3 sería factible dado que seguiría habiendo más de 4,25m de ancho disponible pero sería problemático el tramo 2 ya que la longitud necesaria para cumplir con el CSV supone un retranqueo muy elevado que impide el pleno uso del dique.

9.2.- Alternativa 2: Aumentar la altura y volumen del espaldón

El aumento de la altura del espaldón es la segunda solución propuesta para reducir tanto el momento horizontal como para incrementar el momento estabilizador. Cabe destacar que aparte del coeficientes de fricción y de dirección del oleaje, la otra variable más significativa en la fórmula del caudal (y con él, del momento horizontal) es el francobordo (R_c), el cual se puede aumentar con una actuación directa del espaldón.

A la vez que se añade hormigón en la extremidad izquierda, se añade también 1,25 m*1,5 m en la cota 7,75 para aumentar el peso de la estructura (ver esquema 1)



Esquema 1 Nueva tipología del espaldón (fuente: elaboración propia)

Se concluye que se puede obtener un factor de seguridad aceptable con x igual a 1,8 m.

9.3- Alternativa 3 : Solución mixta

La tercera solución propone la colocación de cubípodos de manera a reducir el coeficiente de fricción junto con el aumento de la cota del espaldón (a niveles menores que la alternativa 2).

La colocación de una capa de cubípodos reduciría el coeficiente de fricción a 0,46 (actualmente 0,5 en el mejor de los casos) y aunque no parezca un cambio significativo, reduce sensiblemente el caudal de rebase el cual interviene en la fórmula del momento horizontal. Por otra parte ya se ha explicado en qué consistía la actuación del aumento de la cota de coronación del espaldón, que corresponde al aumento del francobordo R_c . La propuesta consiste en aumentar la altura de 1 metro en vez de 1,8 como propuesto en la alternativa 2.

10- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Se procede a la evaluación de las alternativas según distintos criterios y se les asigna un coeficiente de ponderación en función de la importancia de cada uno con el objetivo de decidir cuál es la actuación más idónea para el Dique Norte del puerto de Gandía

Los criterios de elección se elevan al número de 5:

- Criterio ambiental con un peso de 20%
- Criterio técnico con un peso de 20%
- Criterio estético con un peso de 10%
- Criterio económico con un peso de 30%
- Criterio funcional con un peso de 20%

10.1- Matriz de análisis multicriterios

La primera alternativa debida a su dificultad de ejecución en el tramo 2 se descarta, sin embargo se incluye en la matriz de selección.

Respecto al criterio económico, la alternativa 3 es parecida a la 2, solo que tiene una actuación más que es la colocación de cubípodos en el manto superior. Se podría pensar que el hecho de tener que hormigonar menos (1m en vez de 1,8) reduciría lo suficiente los costes como para justificar la colocación de cubípodos, pero la verdad es que la alternativa 3 es sustancialmente más costosa que la 2.

A continuación se resumen el precio de las alternativas en la siguiente tabla:

	Precio aprox.(€)
Alternativa 2	144 105
Alternativa 3	3 280 000 +

Tabla 4. Precio de las alternativas (fuente: elaboración propia)

En el anejo 6 *ESTUDIO DE ALTERNATIVAS* se desarrolla más en profundidad la puntuación otorgada en la matriz de análisis multicriterios.

Criterios	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ambiental	20%	2	4	3
Funcional	20%	2	4	5
Económico	30%	2	5	3
Tecnico	20%	2	5	4
Estético	10%	5	4	4
Total	100%	46%	90%	74%



Tabla 5. Matriz de análisis multicriterios (fuente: elaboración propia)

10.2- Valoración económica

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA:

CAPÍTULO 1: RECRECIDO DEL ESPALDÓN.....	144.105,57 €
TOTAL.....144.105,57 €

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de CIENTO CUARENTA Y CUATRO MIL CIENTO CINCO EUROS CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS 144 105,57 €).

Considerando que se tiene un 13% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial, la valoración económica final con y sin I.V.A (21%) asciende DOSCIENTOS SIETE MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	144.105,57 €
13% GASTOS GENERALES	18.733,72 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	8.646,33 €

VALORACIÓN ECONÓMICA FINAL SIN I.V.A.	171.485,62 €
21% DE I.V.A.	36.011,98 €

VALORACIÓN ECONÓMICA FINAL 207.497,18 €

Fecha: NOVIEMBRE 2022
Autor del estudio: PABLO VILLARET SANCHEZ
Fdo:

11- CONCLUSIÓN

La consciencia que tiene el ser humano del impacto que tiene sobre su entorno es relativamente reciente, por ese motivo las construcciones de los últimos 100 años carecen de visión a largo plazo en ese sentido.

En este estudio, se ha podido evaluar el impacto del cambio climático, y unas de sus consecuencias la más importante : la subida del nivel del mar.

El principal problema es el aumento de los esfuerzos sobre el espaldón debido a un aumento de la altura de ola significativa, valor fijo con el que se calculó las dimensiones de la estructura.

Se ha determinado que el dique norte del puerto de Gandía sufrirá de lo anteriormente mencionado y se ha propuesto alternativas para solucionar los problemas causados por el calentamiento global. Aún así, medidas globales respecto a los niveles de emisión de gases de efecto invernadero tienen que ser tomadas en urgencia antes de que los efectos sean irreversibles y que cualquier actuación defensiva sea ineficaz frente a la amplitud del problema.

12.- BIBLIOGRAFÍA

[1] **Cambio climático** (s.f), recuperado el 1 de septiembre 2022

https://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_climático#:~:text=Un%20cambio%20climático%20se%20define,hasta%20alcanzar%20un%20nuevo%20equilibrio.

[2] **IPCC ,(2007)**. *Cambio climático: informe de síntesis. Cuarto informe de evaluación del IPCC.*

[2.a] **Ubicación de gandía.** (s.f), Google maps. Recuperado 07 de Noviembre 2022 de <https://www.google.fr/maps/place/Gandie,+Province+de+Valence,+Espagne/@38.9763938,-0.1909041,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd61e8342d59bcd60x841e6f90d6486771!8m2!3d38.968032!4d-0.1844671>

[3] **Valenciaport** (s.f). *Historia del puerto de Gandía* . Recuperado el 01 de Noviembre 2022 de <https://www.valenciaport.com/comunidad/gandia/historia/#:~:text=El%20Puerto%20de%20Gandía%20es,Railway%20and%20Harbour%20Company%20Limited>

[3.a] **Plano del puerto de Gandía** (s.f). Recuperado el 07 de Noviembre 2022 de <https://www.valenciaport.com/autoridad-portuaria/infraestructuras/terminales-e-instalaciones/puerto-de-gandia>

[3.b] **M.O.P.U. (1988)**: *Diques de abrigo en España. Tomo 3 (fachadas levante, Cataluña y Baleares)*. Ed. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, 518 pp

[4] **¿Qué es el cambio climático?** (n.d). Recuperado 02 de septiembre 2022 de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

[5] **Navionics. (2022)** *Chart viewer* . Recuperado el 20 de septiembre de 2022 de <https://webapp.navionics.com/?lang=fr#boating/search@10&key=sw%60mFnjS>

[6] **Puertos del estado** (s.f) Recuperado el 16 de septiembre 2022 de <https://www.puertos.es/en-us/oceanografia/Pages/portus.aspx>

[7] **ROM 0_0-01. (2001)** 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., Jozel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., ... Wratt, D.(s. f.). *Coordinating Lead Authors: 74. Procedimiento general y base de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.*

[8] **Sea level change.** (s.f). *IPCC AR6 Sea Level Projection Tool*. Recuperado el 02 de Noviembre 2022 de https://sealevel.nasa.gov/data_tools/17

[9] **Cress.nl.** (s.f). *Wind waves and swell*. Recuperado el 02 de Noviembre 2022 de <http://www.cress.nl/Regel.aspx>



[10] **Marta R, Melisa M, Paula C, Iñigo J. (2019).** *Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española* (investigación). Recuperado 25 de octubre 2022

https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/tarea_2_informe_pima_a_dapta_mapama_tcm30-498855.pdf

[11] **VISOR C3E.** (s. f.). Recuperado 25 de octubre 2022, de <https://c3e.ihcantabria.com/>

[12] **Negro Valdecantos V, Varela Carnero O. (2002).** *Diseño de dique rompeolas*, Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.

[13] **EurOtop, (2016).** *Wave Overtopping of Sea Defenses and Related Structures: Assessment*

Manual (EurOtop Manual). Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., Van der Meer, J.W. Environment Agency, UK/ENW Expertise Network Waterkeren, NL/KFKI Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, Germany.

[14] **Jorge Molinés, Maria P. Herrera, Josep R. Medina (2017).** *Estimations of wave forces on crown walls based on wave overtopping rates*

[15] **ROM 0.5-0.5, (2005).** *Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas*

[16] **Generador de precios** (n.d). *Muro de hormigón*. Recuperado el 02 de Noviembre 2022 de

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Estructuras/Hormigon_armado/Muros/Muro_de_hormigon.html#gsc.tab=0

[17] **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2022)** (s.d). *¿Cuáles son los objetivos de desarrollo sostenible?* Recuperado el 07 de Noviembre 2022 de

[https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#:~:text=de%20Desarrollo%20Sostenible%3F-,Los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible%20\(ODS\)%2C%20tambi%20conocidos%20como,disfruten%20de%20paz%20y%20prosperidad.](https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#:~:text=de%20Desarrollo%20Sostenible%3F-,Los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible%20(ODS)%2C%20tambi%20conocidos%20como,disfruten%20de%20paz%20y%20prosperidad.)





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

ANEJO 1. CAMBIO CLIMÁTICO





ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	40
2.- CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL	40
3.- CAMBIO CLIMÁTICO Y SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR	42
4.- PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO	44
4.1.- Descripción	44
4.2.- Proyecciones AR5 y SROCC	44

1.- INTRODUCCIÓN

La definición del cambio climático según las Naciones Unidas a través de su sitio web :

“El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas..” [4]

En este anejo se va a explicar y analizar el cambio climático a nivel global y sus consecuencias sobre el nivel del mar. Por otra parte se explicará qué es el IPCC, quién lo constituye y cuáles son las trayectorias de concentración representativa (RCP).

2.- CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El calentamiento global es el aumento a largo plazo de la temperatura atmosférica media del sistema climático de la Tierra debido a la intensificación del efecto invernadero. Es un aspecto primordial del cambio climático actual, demostrado por la medición directa de la temperatura, el registro de temperaturas del último milenio y de varios efectos del calentamiento global ya visibles.

En el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se presentan conclusiones claras sólidas de una evaluación global de la ciencia del cambio climático, entre las cuales destaca que ahora la ciencia demuestra con una seguridad del 95 por ciento que la actividad humana es la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. En el informe se confirma que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y que muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios: la atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado. Cada uno de los tres últimos decenios han sido sucesivamente más cálidos en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850.

En el pasado, ha habido variaciones históricas en el clima de la Tierra, pero las que están ocurriendo actualmente lo están haciendo a un ritmo sin precedentes que no puede ser explicado por causa natural alguna, por lo que, según la evidencia científica del calentamiento global, este drástico cambio solo puede deberse a la desmedida actividad humana de los últimos tiempos. La mayor influencia humana ha sido la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno. Las proyecciones de modelos climáticos resumidos en el AR5 indicaron que durante el presente siglo la temperatura superficial global subirá probablemente 0,3 a 1,7 °C para su escenario de emisiones más bajas usando mitigación estricta y 2,6 a 4,8 °C para las mayores. Estas conclusiones han sido respaldadas por las academias

nacionales de ciencia de los principales países industrializados y no son disputadas por ninguna organización científica de prestigio nacional o internacional.

El cambio climático futuro y los impactos asociados serán distintos en una región a otra alrededor del globo. Los efectos anticipados incluyen un aumento en las temperaturas globales, una subida en el nivel del mar, un cambio en los patrones de las precipitaciones y una expansión de los desiertos subtropicales. Se espera que el calentamiento sea mayor en la tierra que en los océanos y que el más acentuado suceda en el Ártico, con el continuo retroceso de los glaciares, el permafrost y la banquisa. Otros efectos probables incluyen fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes, tales como olas de calor, sequías, lluvias torrenciales y fuertes nevadas; acidificación del océano y extinción de especies debido a regímenes de temperatura cambiantes. Entre sus impactos humanos significativos se incluye la amenaza a la seguridad alimentaria por la disminución del rendimiento de las cosechas y la pérdida de hábitat por inundación. Debido a que el sistema climático tiene una gran inercia y los gases de efecto invernadero continuarán en la atmósfera por largo tiempo, muchos de estos efectos persistirán no solo durante décadas o siglos, sino por decenas de miles de años.[1]

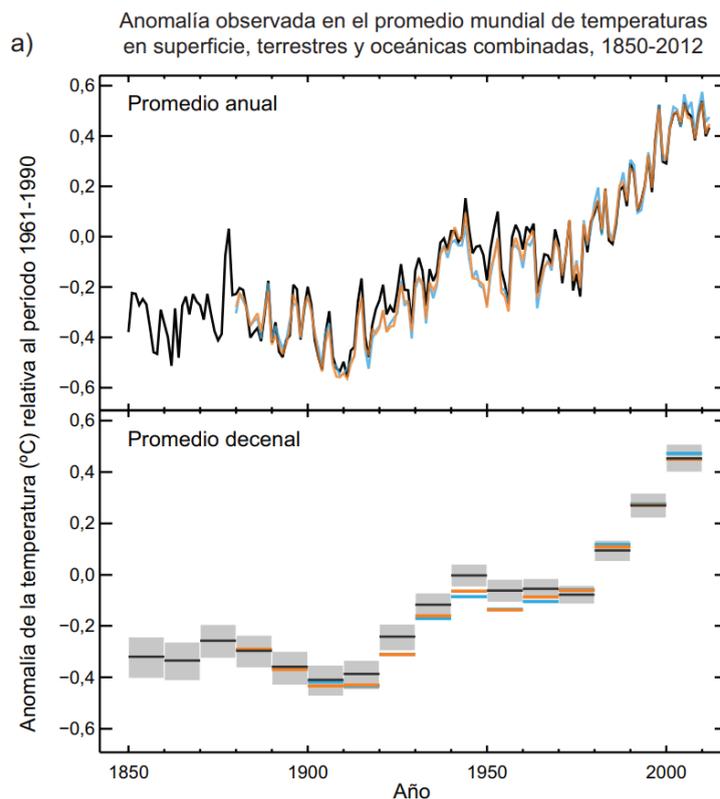


Imagen 1: Evolución de la temperatura global en los últimos 150 años. Fuente:IPCC

b) Cambio observado en la temperatura en superficie, 1901-2012

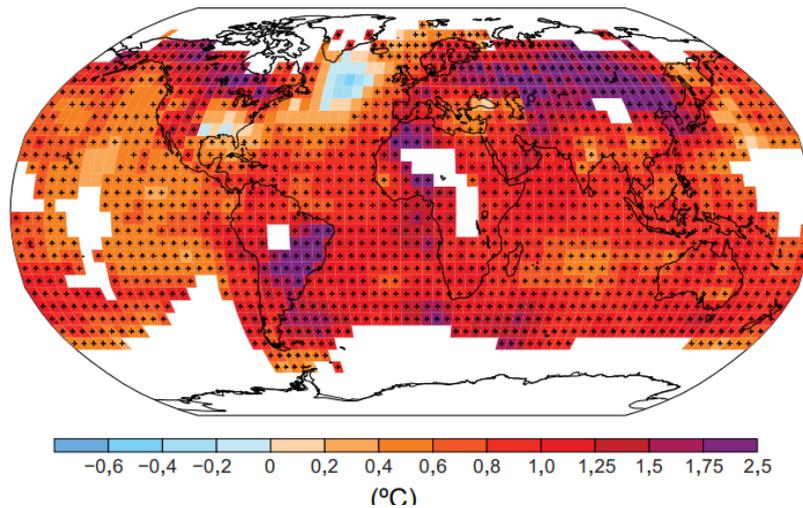


Imagen 2: Cambio observado en la temperatura en superficie. (Fuente: IPCC)

3.- CAMBIO CLIMÁTICO Y SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR

El aumento del nivel del mar es un fenómeno que comenzó en el siglo XX como resultado del calentamiento global. El nivel medio del mar aumentó 20 cm entre 1901 y 2018, y el ritmo se está acelerando hasta superar los 3,5 mm anuales en 2020 según el quinto informe del IPCC. Las mediciones se realizaron por dos medios principales: los mareógrafos, que son instalaciones fijas, y la altimetría por satélite.

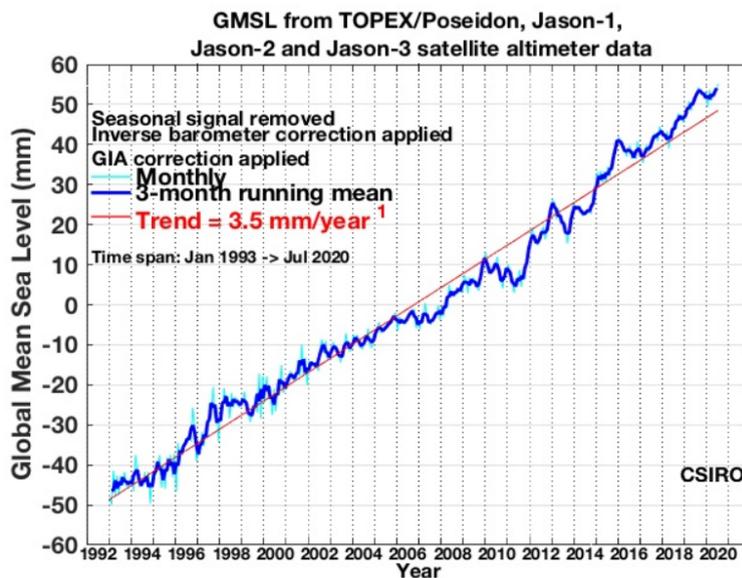


Imagen 3: Evolución del nivel medio global del nivel del mar por satélite de 1992-2020. (Fuente: Sea Level rise-CSIRO)

A pesar del intento del ser humano para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, los océanos son los que están moderando sus efectos. Efectivamente, absorben más del 90% del calor liberado por los gases y por lo tanto 2021 fue un año récord de calentamiento de los océanos.

Dos fenómenos relacionan el clima con el nivel del mar. El primero es el deshielo de una parte de los hielos continentales (capas de hielo polares y glaciares de montaña), que representa alrededor del 50% de la subida actual. El segundo es el efecto de la expansión térmica del agua de los océanos como consecuencia del aumento de la temperatura. Ambos fenómenos son muy lentos: tardan siglos en reaccionar plenamente a un aumento brusco de la temperatura. Por esta razón, el nivel del mar apenas ha empezado a responder al calentamiento global, y seguiría subiendo a lo largo del tercer milenio aunque se pudiera detener.

Además de estos dos efectos principales, otros fenómenos, no necesariamente relacionados directamente con el calentamiento global, también están contribuyendo al aumento actual. El más significativo es el agotamiento de los acuíferos sobreexplotados en los continentes.

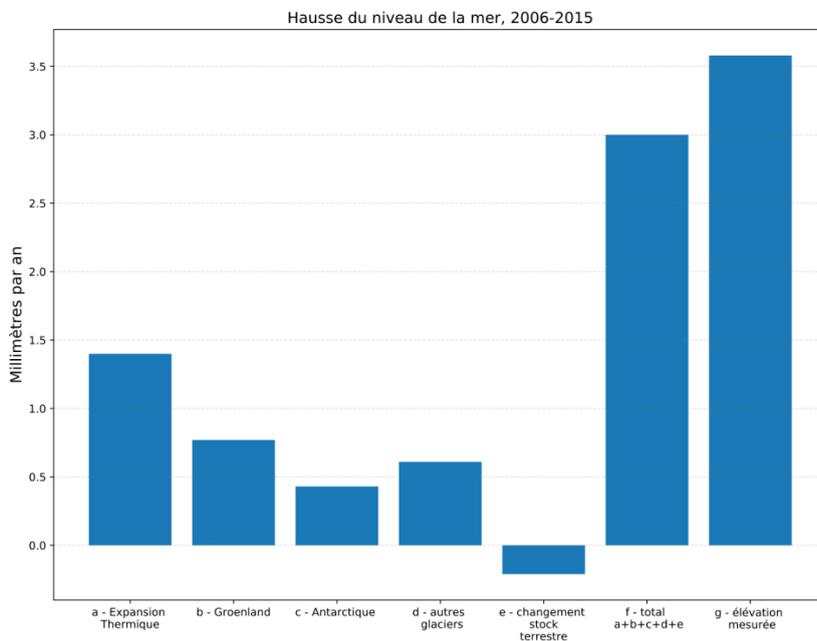


Imagen 3: Contribución a la elevación del nivel del mar, a-expansión térmica, c-otros glaciares, e-cambio en el stock terrestre, g-elevación medida . (Fuente: 6th report of IPCC)

4.- PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

4.1.- Descripción

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal órgano internacional para la evaluación del cambio climático. Fue creado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988 para ofrecer al mundo una visión científica clara del estado actual de los conocimientos sobre el cambio climático y sus posibles repercusiones medioambientales y socioeconómicas. En el mismo año, la Asamblea General de las Naciones Unidas hizo suya la decisión de la OMM y del PNUMA de crear conjuntamente el IPCC.

El IPCC es un órgano científico. Examina y evalúa la bibliografía científica, técnica y socioeconómica más reciente producida en todo el mundo pertinente para la comprensión del cambio climático.

El IPCC es un órgano intergubernamental. Pueden formar parte de él todos los países miembros de las Naciones Unidas y de la OMM. Actualmente, 195 países son miembros del IPCC. El Grupo Intergubernamental de Expertos se reúne por lo menos una vez al año en sesión plenaria a nivel de representantes de los gobiernos en que se toman las principales decisiones sobre el programa de trabajo del IPCC.

4.2.- Proyecciones AR5 y SROCC

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático plantea varias posibilidades de evolución respecto a la emisiones de carbono.

Una trayectoria de concentración representativa (RCP, por sus siglas en inglés) es una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero adoptada por el IPCC. Se utilizaron cuatro trayectorias para la modelización del clima y la investigación para el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC en 2014. Las trayectorias describen diferentes futuros climáticos, todos los cuales se consideran posibles dependiendo del volumen de gases de efecto invernadero emitidos en los próximos años. Los RCP originalmente RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5 están etiquetados a partir de un posible rango de valores de forzamiento radiativo en el año 2100 (2.6, 4.5, 6 y 8.5 W/m², respectivamente)^[2]

RCP 2.6 es una trayectoria "muy estricta" de emisiones.

RCP 4.5, Las emisiones en RCP 4.5 alcanzan su punto máximo alrededor de 2040, luego disminuyen.

RCP 6, En RCP 6, las emisiones alcanzan su punto máximo alrededor de 2080 y luego disminuyen.

En *RCP 8.5*, las emisiones continúan aumentando durante todo el siglo XXI, en el escenario "business as usual" (negocios como siempre). Desde el Quinto reporte se ha pensado que esto es muy poco probable, pero aún posible, ya que las

retroalimentaciones no se comprenden bien.

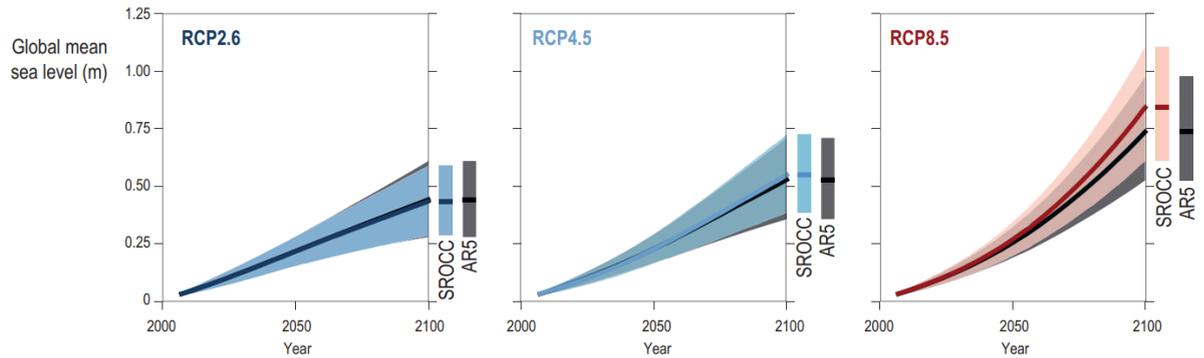


Imagen 4: Subida media del nivel del mar en función de los escenarios . (Fuente: 6th report of IPCC,SROCC)

En la imagen 4 y 5 se ve una relación clara entre las emisiones y las proyecciones de subida del nivel del mar

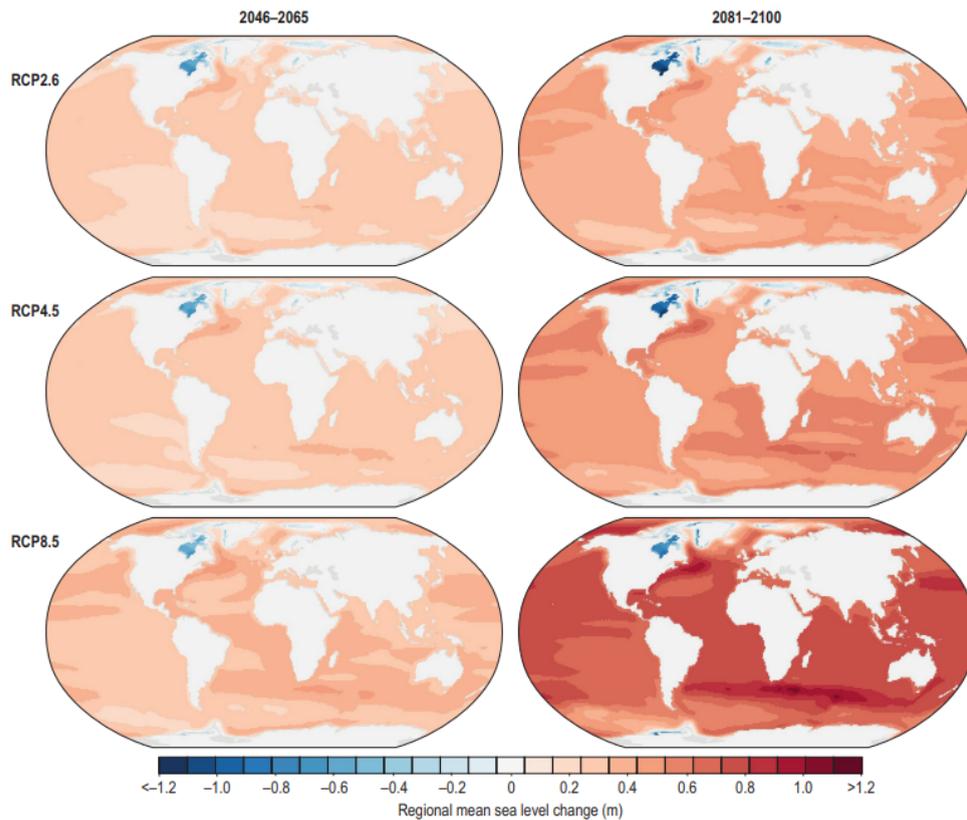


Imagen 5: Subida media del nivel del mar en función de las regiones . (Fuente: 6th report of IPCC,SROCC)

En las siguientes tablas se resumen las estimaciones de aumento del nivel de la

temperatura y del nivel del mar.

	2046-2065	2081-2100
Escenario	Media y rango probable(C·)	Media y rango probable(C·)
RCP2.6	1.0 (0.4 a 1.6)	1.0 (0.3 a 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 a 2.0)	1.8 (1.1 a 2.6)
RCP6	1.3 (0.8 a 1.8)	2.2 (1.4 a 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 a 2.6)	3.7 (2.6 a 4.8)

Tabla 1.1: Proyecciones de aumento del calentamiento global (°C) (quinto reporte)

	2046-2065	2081-2100
Escenario	Media y rango probable(m)	Media y rango probable(m)
RCP2.6	0.24 (0.17 a 0.32)	0.40 (0.26 a 0.55)
RCP4.5	0.26 (0.19 a 0.33)	0,47 (0,32 a 0,63)
RCP6	0.25 (0.18 a 0.32)	0.48 (0.33 a 0.63)
RCP8.5	0.30 (0.22 a 0.38)	0.63 (0.45 a 0.82)

Tabla 1.2: Proyecciones de aumento del nivel medio mundial del mar (metros) (quinto reporte)

El Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante (SROCC, siglas en inglés para Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas es un resumen de la literatura científica que describe los efectos del calentamiento global observados y los probables efectos futuros sobre los océanos y la criosfera. El SROCC también discute las consecuencias, positivas y negativas, de estos cambios sobre los humanos y ecosistemas, así como alternativas de manejo para la mitigación y adaptación al cambio climático. Es parte del sexto informe de evaluación que está actualmente en desarrollo

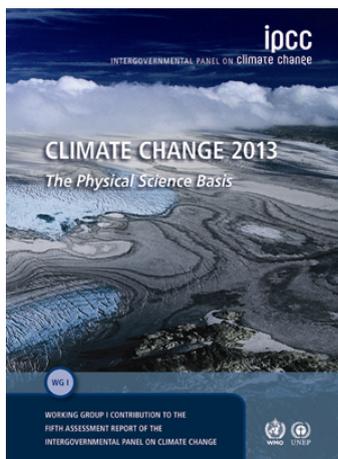


Imagen 6: Portada del AR5 (fuente: IPCC)

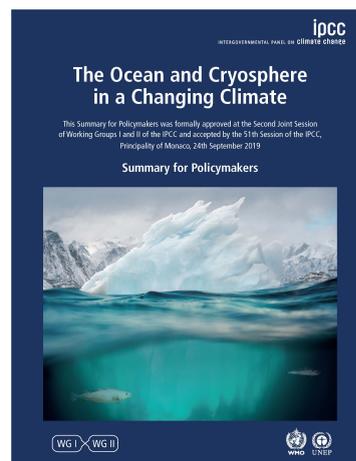


Imagen 7: Portada del SROCC, (fuente: IPCC)

En este trabajo se van a utilizar principalmente los documentos del IPCC, especialmente las publicaciones posterior al quinto informe de evaluación (AR5) como el *informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante*, del cual nos interesa especialmente el Capítulo 4: Aumento del nivel del mar e implicaciones para las islas, costas y comunidades de litoral bajo.

El SROCC fue elaborado a partir de la revisión de más de 7.000 artículos científicos por parte de más de 100 expertos de 36 países distintos.

Las conclusiones son similares a las del AR5, de las cuales está el aumento de la tasa de calentamiento de los océanos, aumento del nivel del mar y el aumento del riesgo de impactos de los océanos más cálidos en la naturaleza y los ecosistemas costeros.



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 GANDIA





ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	51
2.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO DE GANDÍA	51
2.1.- Ubicación	51
2.2.- Historia y usos	53
3.- HISTORIA Y ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO	55
3.1.- Dique tramo 1	58
3.2.- Dique tramo 2	58
3.3.- Dique tramo 3	60
4.- BATIMETRÍA	62

1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente anejo es el de exponer la máxima información sobre el puerto de Gandía, ubicándolo dentro de la Comunidad Valenciana, presentando sus diferentes usos así como su historia (tanto a nivel general como las actuaciones específicas relacionadas con el dique norte).

2.- DESCRIPCIÓN DEL PUERTO DE GANDÍA

2.1.- Ubicación

El puerto de Gandía se encuentra en Gandía, dentro de la Comunidad Valenciana en la provincia de Valencia, a 60 km al sur de Valencia capital.

Las coordenadas del puerto son 38°59'41.24" N, 0°8'58.34" W.



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

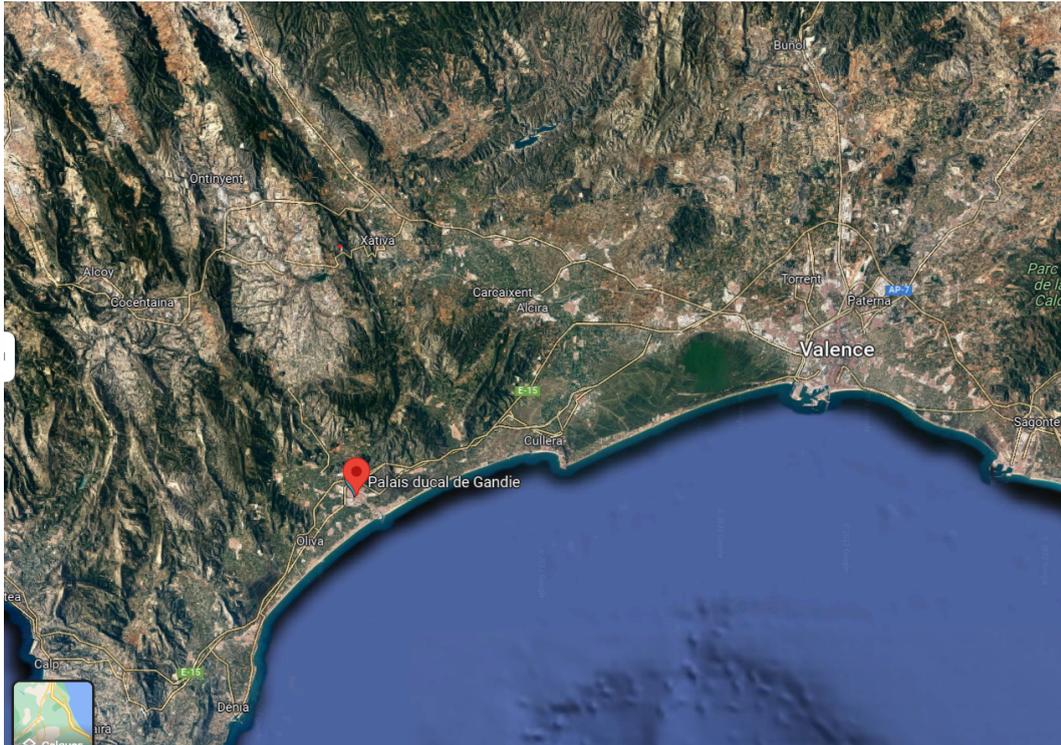


Imagen 2. Ubicación de Gandia. (Fuente: Google Maps)



Imagen 3. Ubicación del puerto en el plano del municipio. (Fuente: Google maps)[2.a]



Imagen 4. Ubicación del Dique norte . (Fuente: Elaboración propia)

2.2.- Historia y usos

El puerto de Gandía fue planificado por D. Rafael Yagüe el 30 de abril de 1883, siendo colocada su primera piedra el 23 de junio de 1886. Tres años más tarde se transfiere la titularidad del mismo a la compañía británica “The Alcoy and Gandia Railway and Harbour Company Limited”, cuyos objetivos eran, por una parte, importar el carbón que necesitaban las industrias textiles alcoyanas y, por otra, exportar los productos de la zona a los mercados ultramarinos. Esta última sociedad amplía las obras y llega a convertir a Gandía en el segundo puerto frutero de España, alcanzando las 250.000 toneladas en 1934.

En 1946, tras la Segunda Guerra Mundial y debido a la disminución de la actividad del puerto, el Estado declara el puerto de Gandía “de interés general”, haciendo efectiva la compra del mismo el 21 de octubre de ese mismo año y pasando finalmente en 1961 a pertenecer a la Comisión Administrativa Grupo de Puertos de Valencia.

La Autoridad Portuaria de Valencia incorpora el puerto de Gandía a su ámbito de gestión en 1985, realizando importantes mejoras y ampliaciones en el recinto e impulsando el tráfico.^[3]



1. Real Club Náutico de Gandía / Royal Gandia Yacht Club / Reial Club Nàutic de Gandia
2. Muelle Borgia / Borgia Quay / Moll Borgia
3. A N-332 AP-7 (Enlace Xeresa) / To N-332 AP-7 (Xeresa exit) / A N-332 AP-7 (Enllaç Xeresa)
4. Varadero / Dry Dock / Varador
5. Muelle Norte / North Quay/ Moll Nord
6. A C-230 Gandía AP-7 (Enlace Oliva) / To C-230 Gandia AP-7 (Oliva exit) / A C-230 Gandia AP-7 (Enllaç Oliva)
7. Lonja / Fish Market / Llotja
8. Muelle Pesquero / Fishing Quay / Dàrsena Pesquera
9. Muelle de Motoveleros / Motor-Sailor Quay / Moll de Motovelers
10. Muelle Frutero / Fruit Quay / Moll Fruiter
11. Aduana / Customs / Duana
12. SEGASA SAGEP / SEGASA SAGEP / SEGASA SAGEP
13. Almacén Frigorífico / Cold storage warehouse / Frigorífics
14. Autoridad Portuaria / Port Authority / Autoritat Portuària
15. Capitanía Marítima / Harbourmaster's Office / Capitania Marítima
16. Muelle Sur / South Quay / Moll Sud
17. Cauce Río Serpis / Serpis riverbed / Llit Riu Serpis
18. Muelle Serpis / Serpis Quay / Moll Serpis
19. Dique Norte / North Breakwater / Dic Nord
20. Canal de entrada / Entrance channel / Canal d'Entrada

Imagen 5. Plano del puerto de Gandia . (Fuente: Valenciaport 2022)

El puerto de Gandía atiende un tráfico de carga general, con un alto grado de especialización en la manipulación de mercancías como: bobinas y pasta de papel, paquetes de madera, productos siderúrgicos, chapas y varillas de hierro, productos perecederos y fruta refrigerada de exportación e importación. Asimismo, atiende otros tráficos que utilizan el puerto de manera puntual: otros productos siderúrgicos, mármoles, automóviles, maquinaria, etc., y que tienen principalmente como punto de origen o destino industrias situadas en su hinterland.

Los usos principales del puerto son Puerto comercial, Puerto deportivo y Puerto pesquero.

Datos Tráfico 2015	
Mercancía	Total
Granel sólido	701 toneladas
Mercancía General no containerizada	363.565 toneladas
Mercancía General containerizada	17.640 toneladas
Pesca	1.338 toneladas
Total tráfico	385.242 toneladas
Total TEU	1.594 TEU

Tabla 1. Datos del tráfico marítimo de Gandía. (Fuente: Wikipedia)

3.- HISTORIA Y ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO

La mayor fuente de información respecto a la construcción y desarrollo del dique Norte se encuentra en el libro “Historia del puerto de Gandía”[2007] de Fernando Gimeno Cervera, por tanto los siguientes datos provienen en totalidad de esa obra.

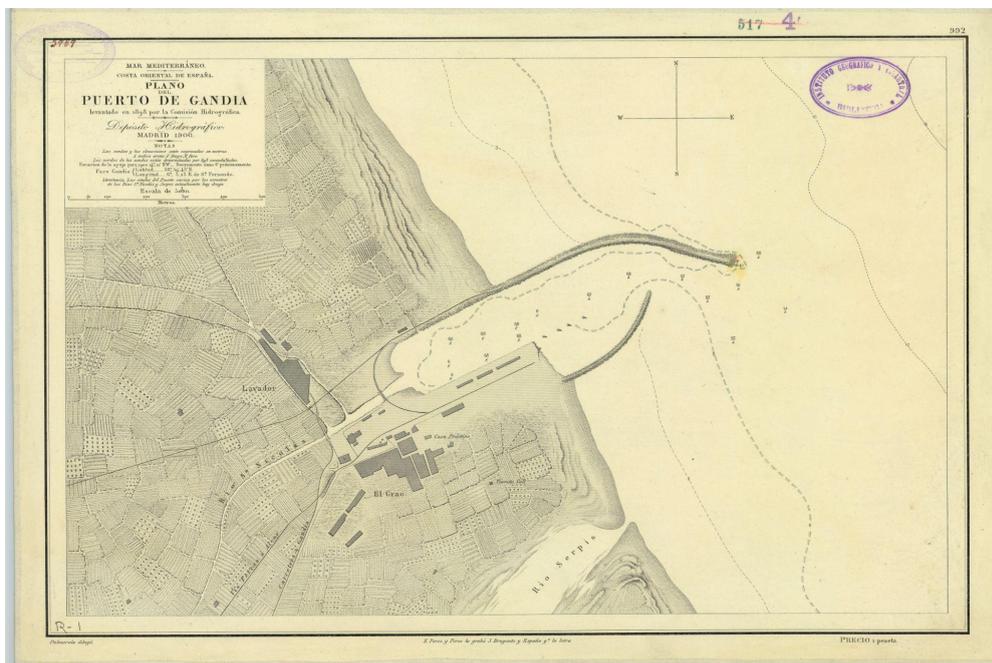


Imagen 6. Plano del puerto de Gandía en 1900. (Fuente:IGN)[3.a]

El dique Norte se construyó a la vez que el resto del puerto en el año 1883, no se modificó hasta que un gran temporal en diciembre de 1890 causó grandes averías.

A raíz de ese temporal se aumentaron las secciones transversales y su trazado en planta fue modificado.

En 1935 se decide prolongar el dique de 150 a 200 metros, así como dragar (a la cota -6) el puerto y construir unos nuevos muelles. No se pudieron llevar a cabo esas

actuaciones por causa de la guerra civil hasta el año 1972, actuaciones que mejoraron sustancialmente las condiciones de abrigo de los interiores del puerto.

Después de esa prolongación, el dique Norte se quedó dividido en dos tramos distintos con una longitud total de 1100 m; el primero de 312 m de longitud que comienza en la playa de Gandía y cuya finalidad es la de proteger la dársena y el segundo tramo de 788 m que protege la entrada del puerto.

Debido a grandes temporales de 1980, se definió una serie de actuaciones para reforzar el dique que se había visto dañado, la mayor actuación consistió en el vertido de cantos de escollera de 6T para conseguir un talud de 3/1.

GANDIA PLANTA GENERAL

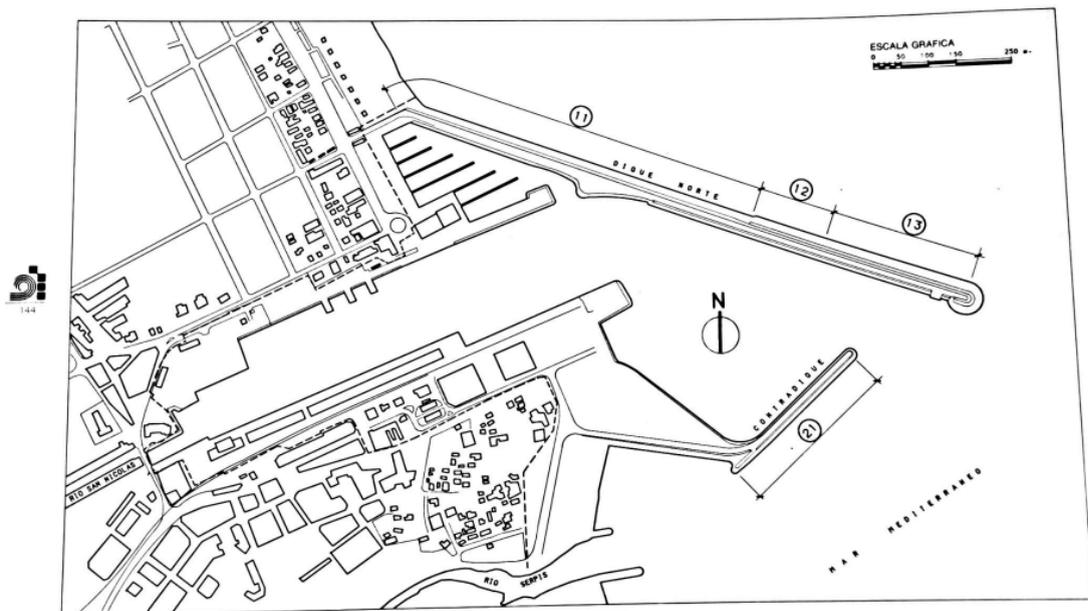


Imagen 7.1. Plano del puerto de Gandia . (Fuente:MOPU)

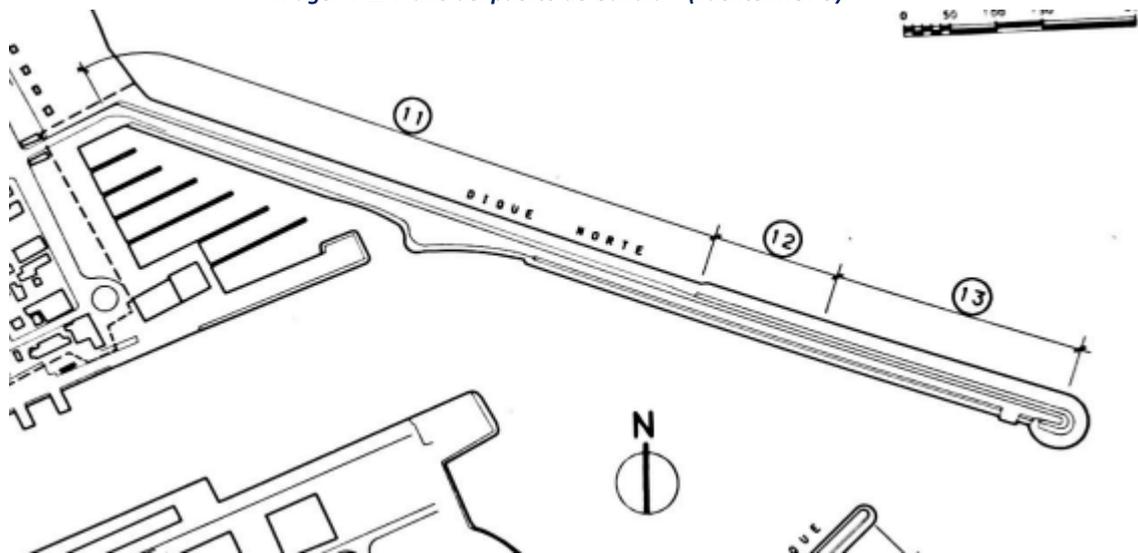


Imagen 7.2. Diferentes tramos (3) del Dique norte . (Fuente:MOPU)

Pasarán 33 años antes de que se vuelva a reforzar otra vez el dique en 2014 debido principalmente al deslizamiento del manto principal. Se volvió a vertir y colocar escollera de 6T en los 607 primeros metros



Para definir esta reparación, se definieron tres secciones tipo: del Pk 410 al 500 se restituyó la sección original del dique con talud 3H : 1V. En la berma de coronación se recibió, con todo uno de cantera (50/100kg), los huecos existentes entre la escollera de 6 toneladas

Del PK 0 al 410 y del Pk 500 al 607 se ejecutaron las siguientes soluciones:

- En las secciones donde solamente hiciera falta colocar la escollera para conseguir la cota proyectada, se colocaron también los 4 m de talud más próximos a la coronación.

En la berma de coronación se rellenaron con todo uno de cantera los huecos generados por la escollera

- En las secciones donde el incremento de la cota de coronación del dique afectaba al talud del mismo, y no se hubiera producido una pérdida de sección, el talud proyectado pasó a ser de 1,5H : 1V. En la berma de coronación se rellenaron con todo uno de cantera los huecos generados por la escollera

A continuación se muestran los planos de los tramos 1 , 2 y 3.

3.1.- Dique tramo 1

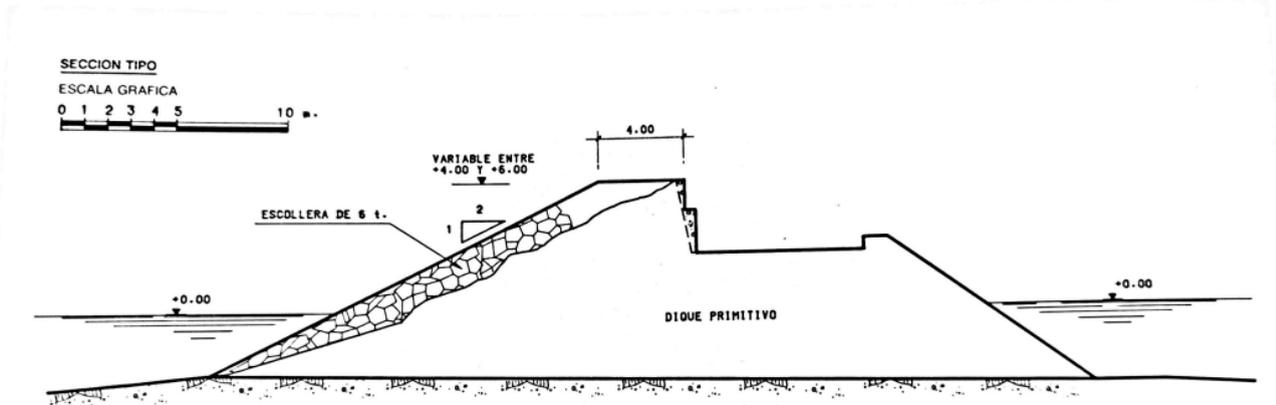


Imagen 8. Sección del tramo 1 del dique de Norte. (Fuente: MOPU)

El tramo 1 del dique de Gandía tiene una longitud de 690 metros, es un dique de abrigo en talud sin berma de coronación. Se diseñó para una altura de ola (H) a pie de obra de 4,53m, 6,57 m en aguas profundas y un periodo (T) de 13,80s. Los datos disponibles son principalmente los correspondientes al manto principal [3b]:

- Manto principal: El manto principal está compuesto por escollera de 6 toneladas y con un peso específico de $2,6 \text{ t/m}^3$. El talud es de 2/1 con una cota superior variable entre +4 y +6.
- Manto secundario: Compuesto por escollera de entre 75 kg-1,5 T

3.2.- Dique tramo 2

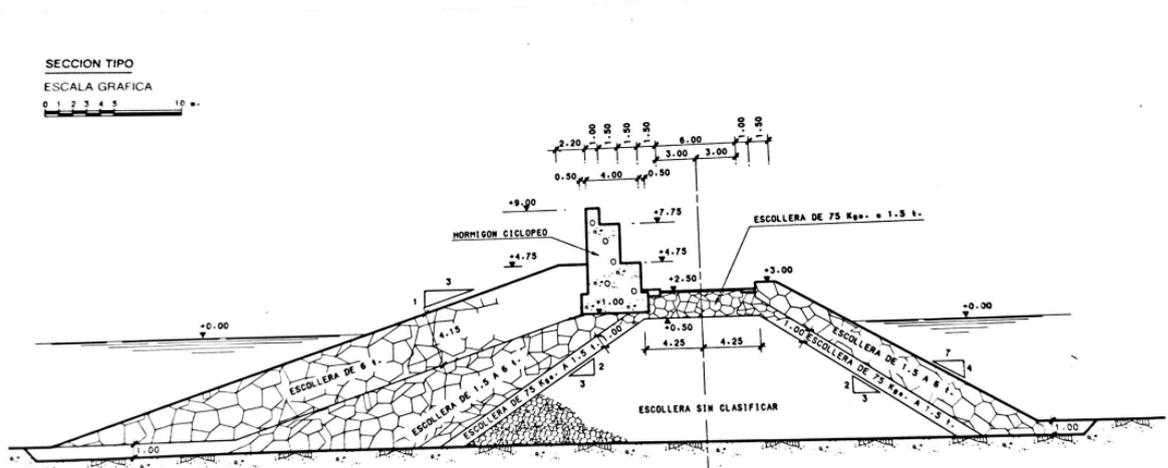


Imagen 9. Sección del tramo 2 del dique Norte. (Fuente:MOPU)

El tramo 2 del dique Norte (imagen 9) tiene una longitud de 140 metros, es un dique de abrigo en talud con una profundidad máxima en BMVE de 7.5m y un espaldón con cota de coronación a +9.00 [3b]:

- Manto principal: Con 4,15m de espesor y tres capas, el manto principal está compuesto por escollera de 6 toneladas con un talud 3/1. Posee una berma a la cota 4,75 de 2,2m de ancho.
- Manto secundario: Está compuesto de dos capas. La primera con escollera de 1,5-6t con un talud de 3/1 y la segunda con escollera de 0,075-1,5t y de talud 3/2.
- Manto inferior: Escollera de 1,5-6t con talud 7/4.
- Núcleo: Escollera sin clasificar, con talud exterior e interior de 3/2, cota de coronación +0,5 y ancho de coronación 8,5.
- Espaldón: Construido de hormigón ciclópeo a la cota +1 con un ancho de 5m y coronado a la cota +9.00 con un ancho de 1m. No dispone de botaolas. Se calculó con el diagrama de ola rota de Iribarren, obteniéndose
 - Coeficiente de seguridad al vuelco 1,78
 - Tangente del ángulo de rozamiento 0,14
 - Presión máxima en la base 2,68kg/cm²



Imagen 10. Foto del tramo 2 del dique Norte. (Fuente: elaboración propia)

3.3.- Dique tramo 3

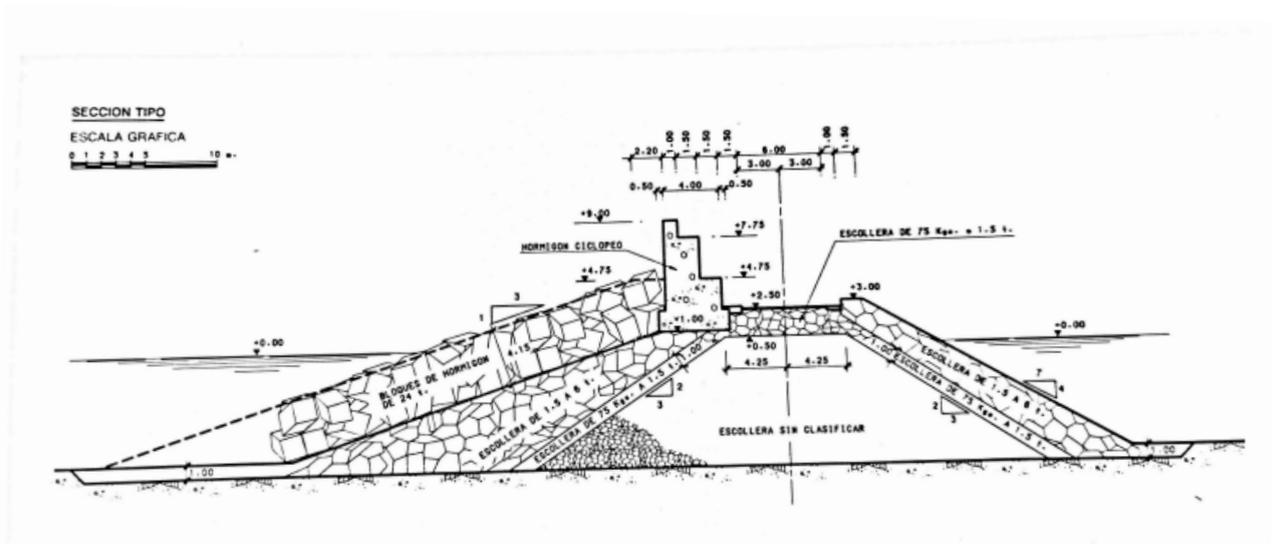


Imagen 11. Sección del tramo 3 del dique Norte. (Fuente:MOPU)

El tramo 3 del dique de Norte (imagen 11) tiene una longitud de 270 m con una profundidad de BMVE de 8.00, una cota de coronación a +9.00. Como los tramos anteriores es un dique de abrigo en talud. Se calculó con una altura de ola (H) en aguas profundas de 6,57 m y 6,24 m a pie de obra, como periodo (T) se tomó 13,8 s. [3b]

- **Manto principal:** Esta sección de 4,15 de espesor está compuesta por bloques de hormigón de 24 toneladas, con unas dimensiones de 2,00*2,00*2,60 m y 2,3 t/m³ de peso específico. El talud es de 3/1 con una berma de 2,20 de ancho a cota +4,75. Los bloques en el morro tienen las mismas características con la diferencia de pesar 36 toneladas y de dimensión 2,40*2,40*2,80 m
- **Manto secundario:** Compuesto de dos capas de escollera con peso respectivo de 1,5-6t y 0,075-1,5t, talud de 3/1 y 3/2
- **Manto interior:** escollera de 1,5 a 6 t coronada a la cota +3,00. Talud 7/4 y espesor variable.
- **Núcleo:** Cota de coronación +0,50 y ancho de coronación 8,50 m, escollera sin clasificar. Talud 3/2
- **Espaldón:** Construido de hormigón ciclópeo a la cota +1 con un ancho de 5m y coronado a la cota +9.00 con un ancho de 1m. No dispone de botaolas. Se calculó con el diagrama de ola rota de Iribarren, obteniéndose
 - Coeficiente de seguridad al vuelco 1,78
 - Tangente del ángulo de rozamiento 0,14
 - Presión máxima en la base 2,68kg/cm²



Imagen 12. Foto del tramo 3 del dique Norte. (Fuente: elaboración propia)

4.- BATIMETRÍA

Los calados en el interior de la dársena del puerto de Gandía varían en función de los diferentes muelles y servicios.

Se tiene como calado máximo de 3 metros en el puerto deportivo (situado al norte-oeste, próximo al tramo 1 del dique norte), el más bajo del puerto como es de esperar.

Los muelles pesqueros y fruteros tienen un calado de aproximadamente 5,6 metros, mientras que el muelle Serpis admite un calado máximo de 11 metros, entendible debido a la necesidad de recibir grandes embarcaciones.

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.[5]

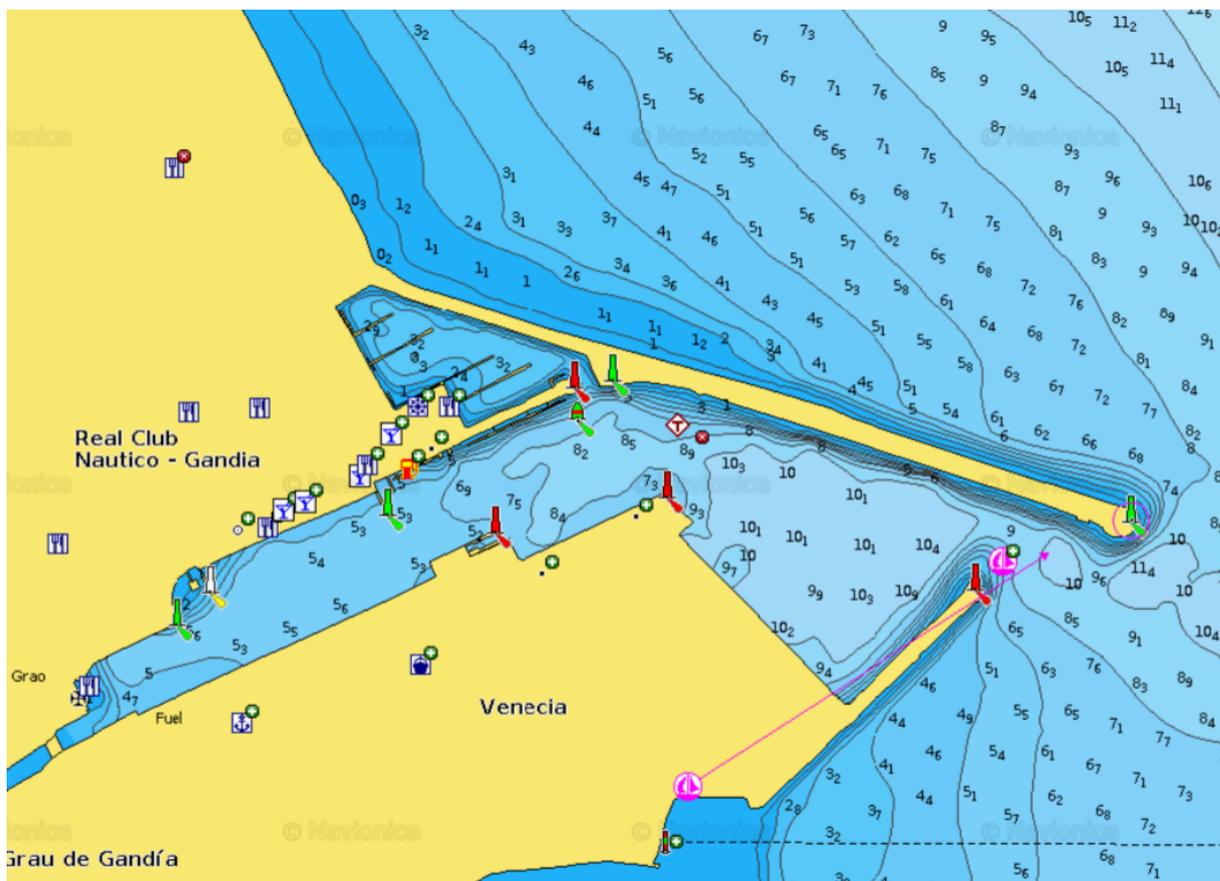


Imagen 12. Batimetría del puerto de Gandía. (Fuente: Navionics)

Las profundidades máximas a pie de dique y contradique (lado mar) son las siguientes:

- Tramo 1: 2,6 metros.
- Tramo 2: 5,4 metros.
- Tramo 3: 6,8 metros.



- Contradique: 6,5 metros.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

ANEJO 3. CLIMA MARÍTIMO





ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	67
2.- LOCALIZACIÓN DE LA BOYA	67
3.- DETERMINACIÓN DE LA OLA DE CÁLCULO	68
3.1.- Régimen de vientos	68
3.2.- Dirección del oleaje y Hs en régimen medio	70
3.3.- Dirección del oleaje en régimen extremal	73
3.4.- Periodo de retorno y vida útil	74
3.5.- Hs en régimen extremal	76
4.- NIVEL DEL MAR	
4.1.- Aumento del nivel del mar debido al cambio climático	79
5.- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE	80
5.1.- Ángulo de incidencia	81
5.2.- Régimen Medio	82
5.3.- Régimen Extremal	83

1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente anejo es realizar el estudio y análisis de las condiciones del clima marítimo en las inmediaciones del Puerto de Gandía, para poder posteriormente calcular los efectos de la subida del nivel del mar sobre el dique Norte

Para el desarrollo de este estudio, la integralidad de los datos se han obtenido de la página web de Puertos del Estado.^[6]

2.- LOCALIZACIÓN DE LA BOYAS

La boya que nos va a servir de base de datos para el oleaje tanto en régimen extremal como en régimen medio va a ser la boya histórica de Valencia.

Esta es utilizada por su antigüedad (hay datos que remontan al año 1959) y por el hecho de que sea una boya situada en aguas profundas. Aquí se tiene la tabla 1 con las informaciones correspondientes

Longitud	0.20° E
Latitud	39.51° N
Cadencia	60 min
Profundidad	260
Conjunto de datos	REDEXT
Tipo de sensor	Direccional Met-Oce

Tabla 1. Datos de la boya de Valencia.

(Fuente: Puertos del estado)

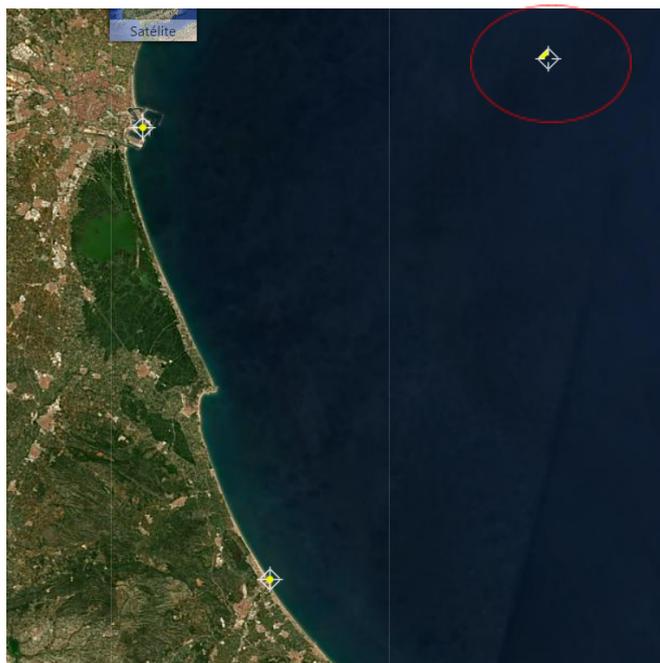


Imagen 1. Ubicación de la boya de Valencia. (Fuente: Puertos del estado)

Respecto a la determinación de la rosa de vientos, se va a utilizar el punto Punto SIMAR 2083108, se utiliza este punto por su proximidad con el puerto de Gandía

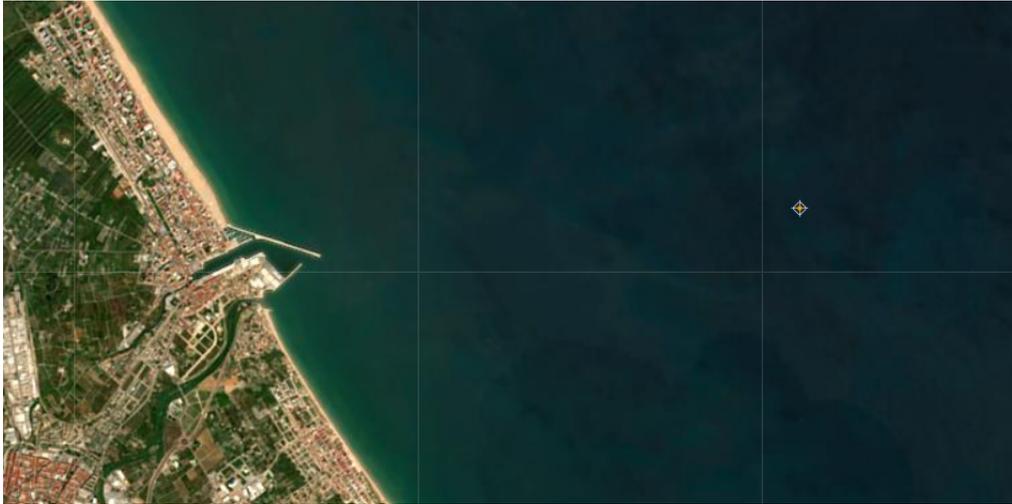


Imagen 2. Ubicación del punto SIMAR. (Fuente: Puertos del estado)

3.- DETERMINACIÓN DE LA OLA DE CÁLCULO

En este apartado se va a llevar a cabo la obtención del valor característico de la ola de diseño a pie de dique. Hay que saber que este tamaño es el mismo que la altura de ola significativa, cuyo valor es directamente obtenido del tercio de las olas más grandes registradas por la boya de Valencia situada en aguas profundas.

Una vez obtenida la altura de ola de diseño (en régimen extremal, para ponernos en situación desfavorable), se propaga el oleaje hasta el dique norte por medio de un programa informático usado en las prácticas informáticas de la asignatura obras marítimas.

3.1- Régimen de vientos

Es importante identificar la dirección y la velocidad del viento dado que es uno de los factores importantes en la generación del oleaje.

Primero determinamos la longitud rectilínea máxima de agua superficial que es uniformemente afectada en dirección y fuerza del viento, llamado *fetch*, es la dirección por la cual llegarán los temporales y las mayores alturas de ola.

Como se puede apreciar en la imagen 3, la mayor distancia donde el viento puede generar oleaje sin obstáculo es de aproximadamente 980 km para la dirección NE, como se va a poder ver más adelante con los datos de la boya de Valencia, corresponde efectivamente a la dirección de oleaje principal para régimen extremal. También se aproxima a las consideraciones de diseño del dique norte, que se ha construido para un fetch de 900 km y de dirección ENE, según el libro *Diques de abrigo en España, volumen 3*

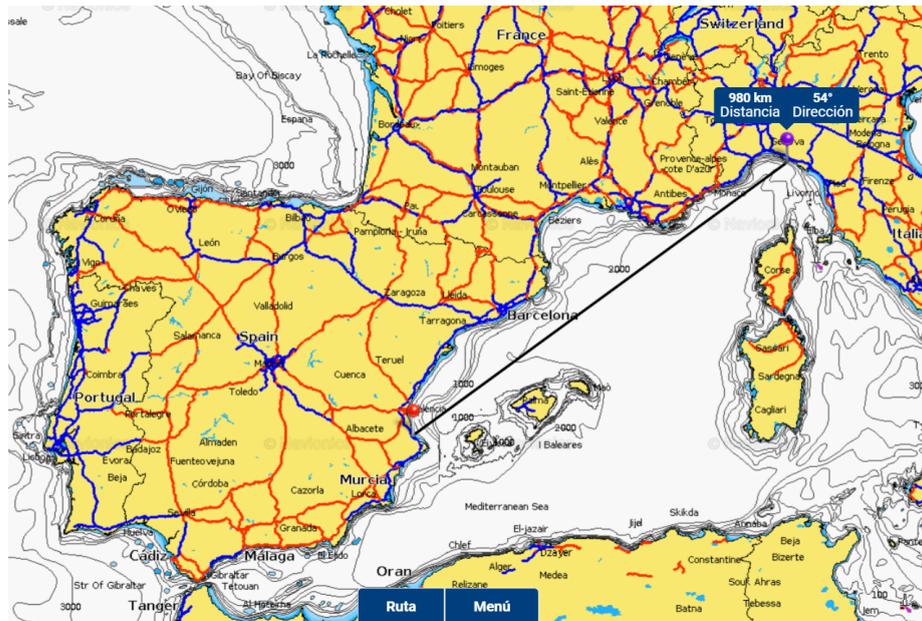


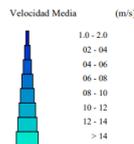
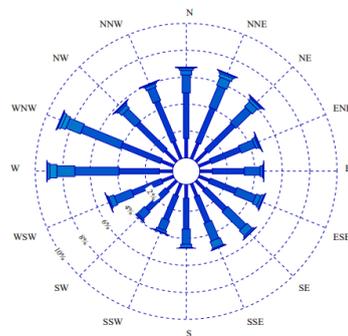
Imagen 3. Fetch hasta el puerto de Gandía. (Fuente: Navionics)

Las direcciones de viento principales se determinan gracias a los datos proporcionados por las boyas.

Para identificar estas direcciones se recurre al nodo SIMAR 2083108

El nodo SIMAR nos indica cuáles son las direcciones de viento predominantes, gráficamente es fácil destacar que las direcciones predominantes son Este, Este-Norte-Este. También existen velocidades elevadas procedentes del Norte-Norte-Este.

La velocidad más habitual es de 4 m/s y muy pocas veces por encima de 10 m/s



Esta rosa de vientos ha sido generada a partir de datos recogidos entre los años 1958-2022, y se refiere al periodo anual, sin especificar las estaciones del año.

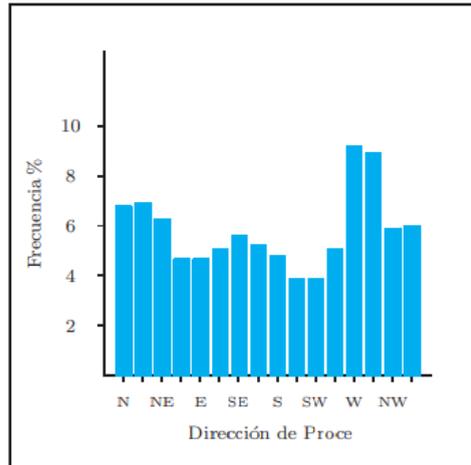


Imagen 4: Procedencia de los vientos (fuente : Puertos del estado)

Como es de esperar, el periodo donde el viento alcanza una velocidad por encima de la media anual se sitúa entre diciembre y febrero, con una velocidad entre 6-8 m/s de frecuencia 10%.

3.2.- Dirección del oleaje y Hs en régimen medio

Para hacer un estado actual del clima marítimo, vamos a determinar la ola de cálculo en régimen medio. El régimen medio de cualquier magnitud relaciona los diversos niveles de la misma con la probabilidad de que dichos niveles no sean superados en un período de tiempo igual al año medio. En el caso del oleaje, se denomina régimen medio de oleaje a la distribución estadística que define el porcentaje de tiempo en que, durante el año medio, la altura de ola (o el período) no excede de cada valor. La elaboración del régimen de oleaje en una zona de la costa puede realizarse a partir de observaciones tomadas por barcos en ruta o bien a partir de registros obtenidos por boyas, en nuestro caso la boya de Valencia.

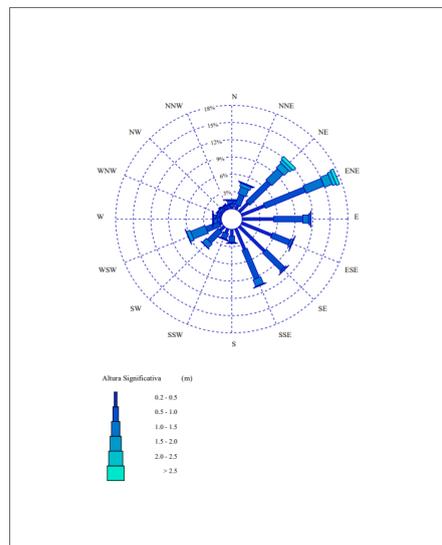


Imagen 5. Rosa de oleaje anual. (Fuente: Puertos del Estado)

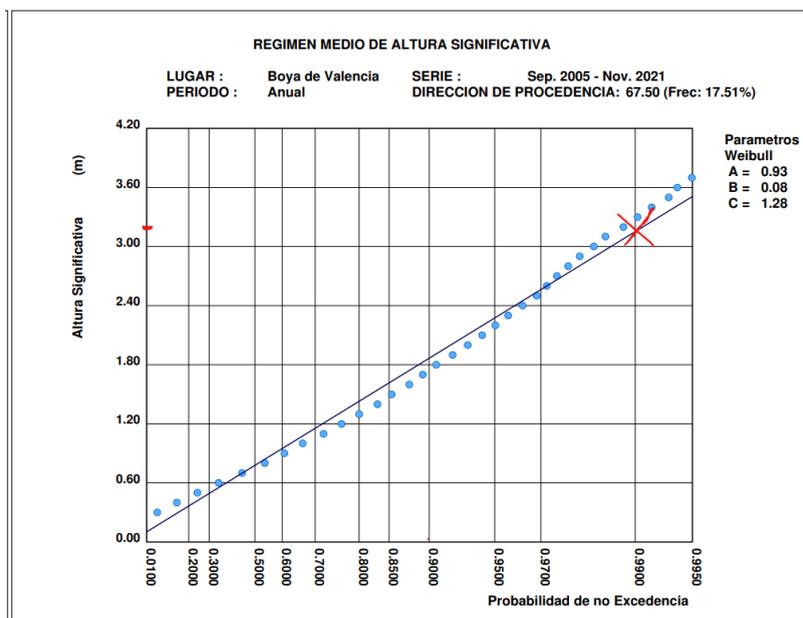
Tabla Altura Significativa (Hs) - Dirección de Procedencia en %

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	2.179												2.179
N 0.0	.312	.575	.435	.196	.048	.017	.002	-	-	-	-	-	1.584
NNE 22.5	.758	1.930	1.307	.560	.138	.065	.017	.002	.002	-	-	-	4.780
NE 45.0	2.096	5.033	2.751	1.135	.546	.261	.167	.087	.027	.014	.048	-	12.166
ENE 67.5	4.227	7.410	3.314	1.386	.623	.263	.169	.080	.024	.010	.007	-	17.513
E 90.0	5.328	4.968	****	.283	.085	.024	.012	.005	-	-	-	-	11.704
ESE 112.5	5.538	3.282	.403	.075	.012	.010	.002	.002	-	-	-	-	9.325
SE 135.0	6.074	4.381	.273	.034	.007	-	-	-	-	-	-	-	10.770
SSE 157.5	3.879	5.468	1.244	.123	.007	-	-	-	-	-	-	-	10.721
S 180.0	1.167	1.075	.159	.017	-	-	-	-	-	-	-	-	2.418
SSW 202.5	.778	1.012	.174	.031	-	-	-	-	-	-	-	-	1.995
SW 225.0	.978	2.671	.973	.070	-	-	-	-	-	-	-	-	4.693
WSW 247.5	.425	2.418	2.695	.638	.060	.010	.002	-	-	-	-	-	6.248
W 270.0	.140	.577	.546	.135	.034	.005	-	-	-	-	-	-	1.437
WNW 292.5	.118	.304	.307	.111	.012	-	-	-	-	-	-	-	.853
NW 315.0	.106	.314	.309	.094	.010	-	-	-	-	-	-	-	.833
NNW 337.5	.147	.314	.200	.099	.010	.002	.007	-	-	-	-	-	.780
Total	2.179	32.073	41.734	16.091	4.988	1.592	.657	.379	.176	.053	.024	.056	100 %

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

Como se puede apreciar en la imagen 5 y la tabla 1, la altura de ola significativa proviene mayoritariamente de la dirección Este-Norte-Este, seguido de la dirección Norte-este y Este. Por lo tanto estas son las direcciones que vamos a estudiar gracias a las gráficas con el parámetro de no excedencia de Weibull para determinar el Hs.

ENE



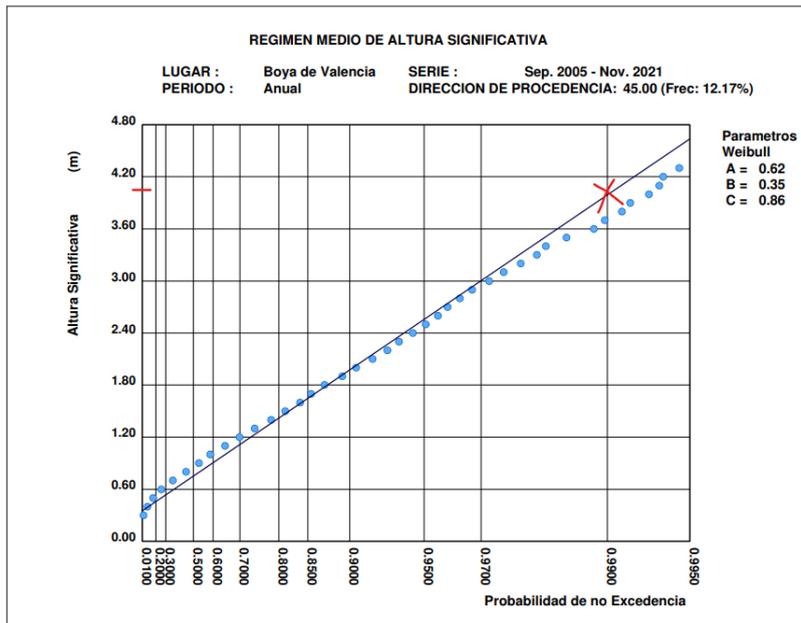
Gráfica 1. Régimen medio de Hs para dirección Este-Norte-Este. (Fuente: Puertos del Estado)

Con una probabilidad de no excedencia del 99%, se puede determinar una Hs de

3,20 m para la dirección Este-Norte-Este. El periodo pico resulta trivial hallarlo con la siguiente fórmula : $Tp = 4,58 Hs^{0.43}$

Por lo tanto se obtiene un periodo pico de 7,55 segundos.

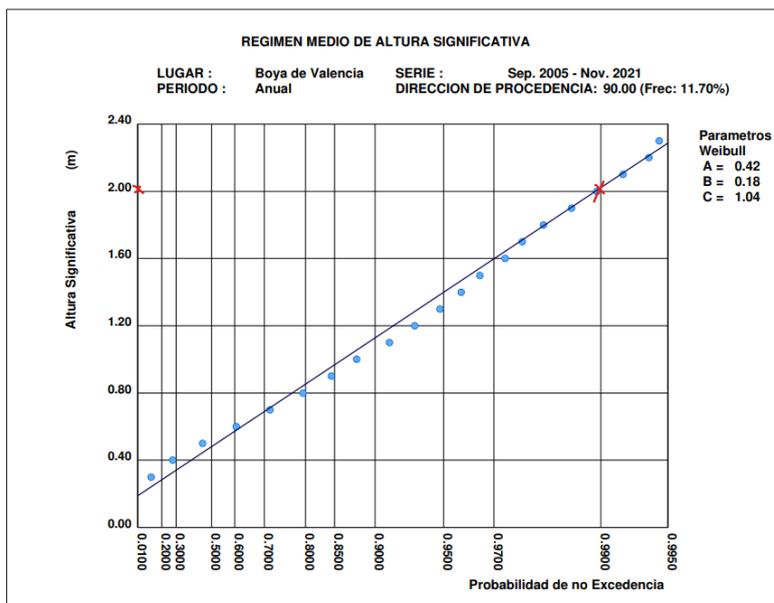
NE



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

Con una probabilidad de no excedencia del 99%, se puede determinar una Hs de 4 m para la dirección Norte-Este. El periodo pico es de 8,31 segundos.

E



Gráfica 3. Régimen medio de Hs para dirección -Este. (Fuente: Puertos del Estado)

Con una probabilidad de no excedencia del 99%, se puede determinar una Hs de 2 m para la dirección Este. El periodo pico es de 6,17 segundos.

Se resume en una tabla los siguientes datos para régimen medio:

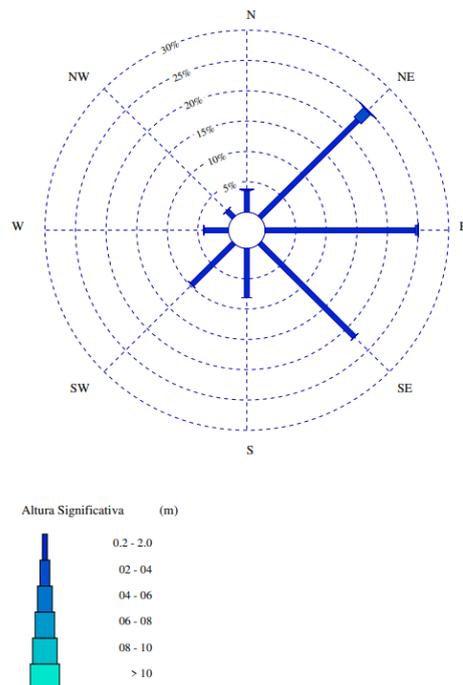
Dirección predominante	Altura de ola (m)	Periodo pico (s)
ENE (67,5°)	3,2	7,55
NE (45°)	4	8,31
E (90°)	2	6,17

Tabla 2. Dirección predominante régimen medio (Fuente: Elaboración propia)

3.3.- Dirección del oleaje en régimen extremal

La seguridad y la operatividad de una instalación en la costa puede estar condicionada por la acción del oleaje en situación de temporal. Es decir, en situaciones donde la altura del oleaje alcanza una intensidad poco frecuente. Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta altura significativa de ola.

Un régimen extremal de oleaje, es precisamente, un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo



Gráfica 4. Dirección de oleaje de Hs régimen extremal -Este. (Fuente: Puertos del Estado)

Como se puede observar, la dirección predominante es la Norte-Este, similar a la dirección predominante en régimen medio, por lo tanto se estudiará la altura de ola significativa en esta dirección.

3.4.- Período de retorno y vida útil

Son varios pasos los que se tienen que hacer para obtener el período de retorno y de esa forma poder interpretar correctamente la gráfica de Hs en función del período de retorno:

1. Se lleva a cabo la estimación del IRE (Índice de repercusión económica), el cual se obtiene con una fórmula disponible en las recomendaciones para obras marítimas (ROM 0_0-01):

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_0}$$

El significado de los diferentes valores está explicado aquí:

“Valora cuantitativamente las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra, CRD, y por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con ella, CRI, previsibles, en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la misma. El IRE se define por la siguiente expresión: donde C_0 , es un parámetro económico de adimensionalización”^[7]

- C_0 : parámetro que en España tiene un valor de 3.000.000 €
- CRD : Para simplificar, consideraremos que es igual a la inversión inicial, la cual se eleva aproximadamente a 50 000 000 € .
- CRI : Se estima con la siguiente ecuación (apartado 2.11.1.4): $CRI/C_0 = C \times (A + B)$ donde:
 - A es el coeficiente de ámbito del sistema productivo al que sirve la obra marítima. En este caso, al tratarse de una obra que afecta a uno de los puertos de interés general en el cual se produce tráfico internacional de mercancías se toma: $A=5$.
 - B hace referencia a la importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra. En este caso se considera que es relevante, y por ello se toma: $B=2$.
 - C hace referencia a la importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve. Se trata de una obra de abrigo que protege al puerto del oleaje y que permite la entrada de buques para llevar a cabo las operaciones de carga y descarga y por tanto es esencial para el puerto. Por ello se toma: $C=5$.

Por lo tanto, tenemos $CRI/C_0 = 35$ y $IRE = 52$

2. Estimamos la vida útil gracias a la siguiente tabla. Se toma el valor de 50 años dado que nuestro **IRE** es superior a 20

IRE	≤ 5	6 - 20	> 20
Vida útil en años	15	25	50

Tabla 2. IRE en función de la vida útil. (Fuente: ROM 0.0)

3. Determinamos el **ISA** (Índice de repercusión social y ambiental) con la suma:
 $ISA_1 + ISA_2 + ISA_3 = \mathbf{ISA}$ donde, ISA_1 , es el subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas; ISA_2 , el subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico e ISA_3 , el subíndice de alarma social.

Los valores se determinan a partir del apartado 2.11.3.

Tomamos ISA_1 (0-20) igual a 3, dado que es una probabilidad baja. La pérdida de vidas humanas es posible pero poco probable (accidental), afectando a pocas personas.

Tomamos ISA_2 (0-15) igual a 4, con posibilidad, persistencia e irreversibilidad media, daños importantes pero reversibles (en menos de cinco años) o pérdidas de elementos significativos del patrimonio.

Tomamos ISA_3 (0-15) igual a 0 ya que no existe una alarma social asociada con el fallo de la obra de abrigo

$$ISA_1 + ISA_2 + ISA_3 = \mathbf{ISA}$$

$$3 + 4 + 0 = \mathbf{ISA}$$

$$\mathbf{ISA} = 7$$

Se halla la *Probabilidad conjunta de fallo en ELU* (P_{fELU}) con la ayuda de la siguiente tabla :

ISA	< 5	5 - 19	20 - 29	≥ 30
P_{fELU}	0.20	0.10	0.01	0.0001
β_{ELU}	0.84	1.28	2.32	3.71

Tabla 3. Probabilidad de conjunto de fallo en función del ISA. (Fuente: ROM 0.0)

La probabilidad conjunta de fallo es de 0,1 con un ISA de 7.

4. Para la obtención del periodo de retorno, se utiliza la fórmula del apartado 7.7.1.1, en la cual se relaciona la vida útil, la probabilidad conjunta de fallo y el periodo de retorno:

$$P_{n,V} = 1 - [F_X(x)]^V = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^V$$

$$P_{n,V} = 0,1$$

$$V = 50$$

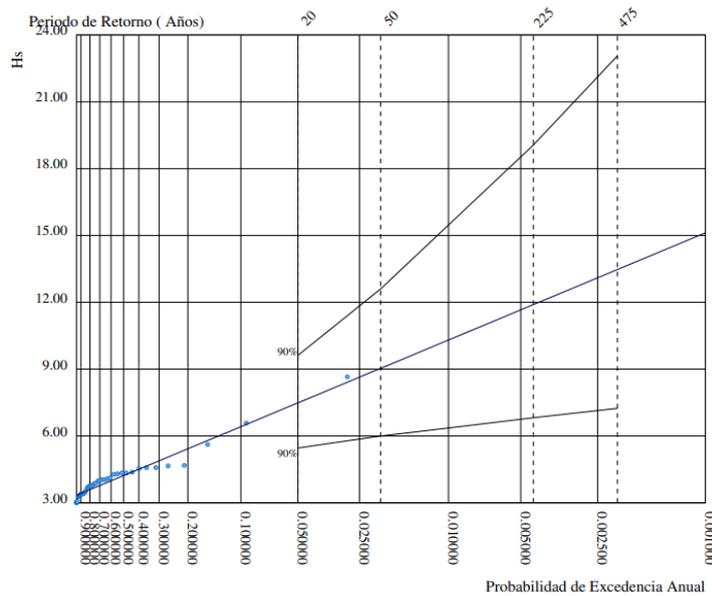
$$0,1 = 1 - (1 - 1/T_R)^{50}$$

$$T_R = 475$$

Se utilizará entonces un periodo de retorno (T_R) de 475 años.

3.5.- Hs en régimen extremal

A partir de la gráfica proporcionada por la boya de Valencia, se obtiene Hs para un periodo de retorno de 475 años y dirección NE. Los valores de Hs son excesivamente altos por el hecho de tener una probabilidad de excedencia considerablemente baja.



Gráfica 5. Probabilidad de excedencia anual y Hs en régimen extremal. (Fuente: Puertos del Estado)

Se toma Hs igual 13,47 m. Por lo tanto tenemos un periodo pico (T_r) de 14,01 s.

4.- NIVEL DEL MAR

La obtención del nivel medio del mar se ha logrado 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.

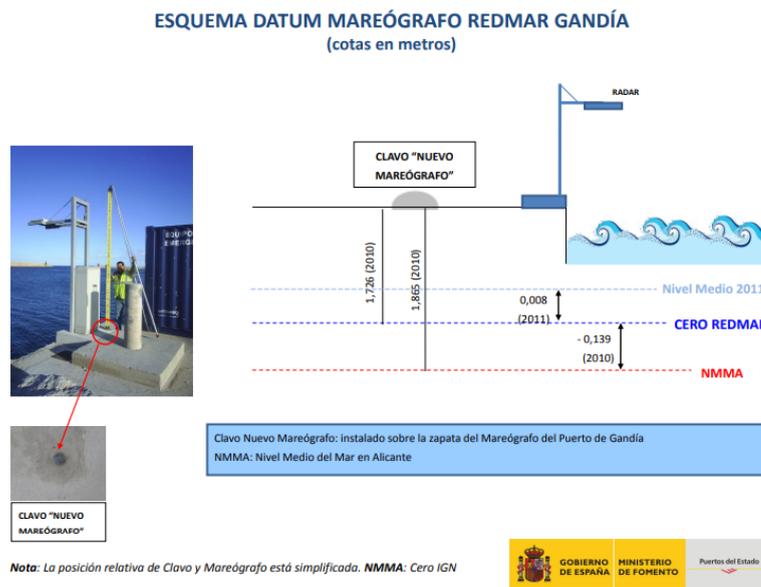


Imagen 3. Esquema DATUM mareógrafo de Gandía. (Fuente: Puertos del Estado)

Cabe destacar que en este caso, el cero hidrográfico coincide con el cero del puerto. Por lo tanto las medidas están referidas al cero REDMAR, el cual corresponde a la mínima bajamar. En condiciones normales la superficie del mar experimenta variaciones de nivel producidas fundamentalmente por dos causas simultáneas: el tiempo atmosférico y la atracción gravitatoria

Por lo que se tiene para determinar el nivel del mar en un punto dado en un instante (t) la siguiente fórmula:

$$X(t) = Z(t) + M(t) + R(t) \text{ donde:}$$

$$X(t) = \text{Nivel del mar real en un punto dado}$$

$$Z(t) = \text{Nivel medio del mar}$$

El nivel medio del mar no es constante. El nivel medio del mar está

relacionado con las variaciones estacionales y con el clima. Su rango de variación es muy inferior a los otros dos, del orden de 10 a 20 cm por siglo (hasta ahora). El registro geológico muestra que a escala de miles y millones de años el nivel medio ha variado mucho. Desde la última glaciación, hace 10.000 millones de años, el nivel ha subido en algunos lugares más de 40 m

$M(t)$ = Marea astronómica

Se puede definir la componente de marea como variaciones periódicas del nivel del mar debidas a los efectos combinados de la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol, la rotación terrestre y la fuerza de Coriolis. Son predecibles a partir de registros de nivel del mar en un punto.

$R(t)$ = Marea residual

Los residuos meteorológicos son las variaciones del nivel del mar que quedan en una serie de registros después de eliminar la marea por medio de un análisis. Los residuos son irregulares, como las variaciones del tiempo atmosférico y comprenden las llamadas ondas de tormenta ("storm surges") variaciones del nivel del mar debido al paso de una tormenta que pueden durar desde varias horas a varios días

El mareógrafo de Gandía nos proporciona el siguiente esquema:

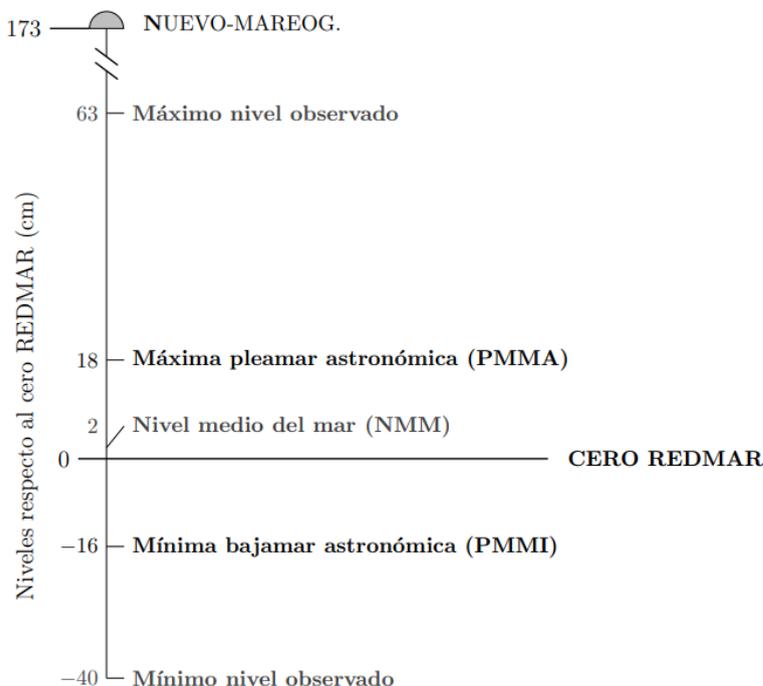


Imagen 4 Principales referencias del nivel del mar y las mareas actuales.
(Fuente: Puertos del Estado)

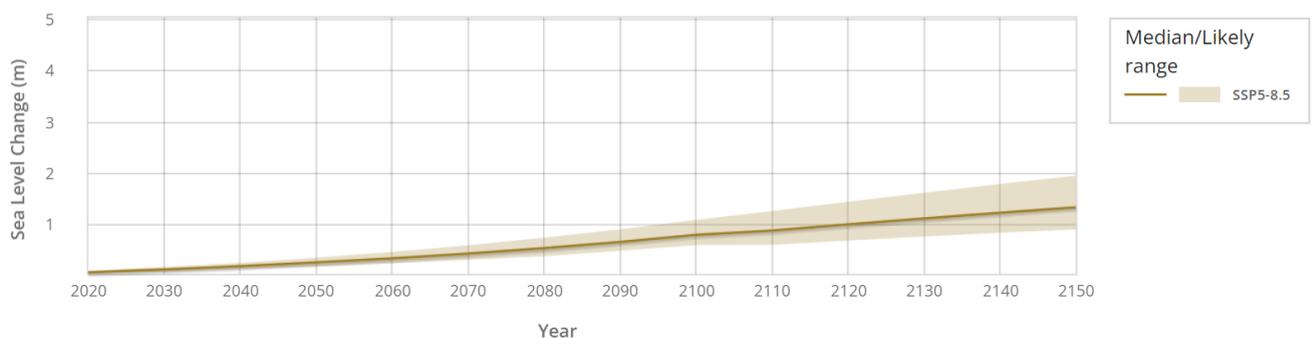
Teniendo estos datos, falta calcular el aumento del nivel del mar $Z(t)$ debido al cambio climático para poder hallar $X(t)$.

4.1-Aumento del nivel del mar debido al cambio climático

Cómo expuesto anteriormente en el apartado *Cambio climático*, se proyecta un aumento considerable del nivel del mar en la próxima década. Dado que hemos calculado un Hs para una vida útil de 50 años, vamos a estimar el aumento del nivel para el año 2070 gracias a los cálculos realizados por el panel intergubernamental para el cambio climático y especialmente con el visor proporcionado por la NASA (*IPCC AR6 Sea Level Projection Tool*).

La herramienta de proyección del nivel del mar de la NASA permite visualizar y descargar los datos de proyección del nivel del mar del 6º Informe de Evaluación del IPCC (AR6). El objetivo de esta herramienta es proporcionar un acceso y una visualización fáciles y mejorados de las proyecciones de consenso que se encuentran en el informe.

La herramienta permite ver las proyecciones del nivel del mar tanto a nivel global como regional desde 2020 hasta 2150, junto con la forma en que estas proyecciones difieren según el escenario futuro. Se puede escoger un punto de cualquier parte del océano para obtener la proyección del nivel del mar del IPCC para esa ubicación específica. También se proporciona las contribuciones de los distintos procesos físicos a la futura subida del nivel del mar, indicando qué procesos serán los más significantes.[8]



Gráfica 6. Proyección de la subida del nivel del mar en Valencia. (Fuente: Sea level.NASA.org)



Imagen 6. Proyección de la subida del nivel del mar en Valencia para 2070.

(Fuente: Sea level.NASA.org)

psmsl_id	process	confidenc	scenar	quantile	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
1813	total	medium	ssp585	5	0,014	0,05	0,092	0,134	0,185	0,241	0,299	0,397	0,495
1813	total	medium	ssp585	17	0,037	0,081	0,131	0,185	0,246	0,313	0,386	0,49	0,604
1813	total	medium	ssp585	50	0,07	0,124	0,188	0,263	0,344	0,436	0,54	0,664	0,802
1813	total	medium	ssp585	83	0,104	0,174	0,257	0,359	0,469	0,599	0,744	0,91	1,094
1813	total	medium	ssp585	95	0,129	0,211	0,311	0,434	0,571	0,732	0,919	1,12	1,348

Tabla 7. Proyección de la subida del nivel del mar en Valencia con escenario SSP 8.5. (Fuente: Sea level.NASA.org)

Se exportan los datos generados por el sitio web a un fichero excel en el cual se puede hallar con más precisión las informaciones deseadas. En nuestro caso elegimos el año 2070, para un escenario SSP 8.5 y el cuantil 50 que corresponde a la mediana.

Con las tablas y los datos que nos proporciona la herramienta se toma **0,44 m** como valor para la subida del nivel del mar en los próximos 50 años.

5.- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Los estudios de propagación del oleaje permiten conocer las modificaciones de la altura de ola significativa desde aguas profundas hasta el emplazamiento del punto de medida considerado.

Es necesario saber la dirección de incidencia del oleaje para su propagación. Por ello, se ha consultado anteriormente la rosa de oleaje y se ha identificado cuáles son las direcciones principales para el régimen medio y el extremal.

Los factores importantes a tener en cuenta en la propagación del oleaje son : el ángulo de incidencia del oleaje con respecto a la batimetría y que se cumpla la condición de aguas profundas. Si la boya está en aguas profundas, se puede propagar directamente hasta la profundidad del pie del dique. Sin embargo, si la boya no se encuentra en aguas profundas, las mediciones se ven afectadas por el efecto del fondo y se debe propagar el oleaje hacia aguas profundas en primer lugar y posteriormente, propagar

de nuevo hacia la costa.

Para determinar si nuestra boya histórica de Valencia está en aguas profundas, utilizamos la igualdad $d/L > 0,5$, siendo d la profundidad a la que se encuentra la boya y L la longitud de onda.

Sabemos por el sitio web de *Puertos del estado* que la boya se encuentra a una profundidad (d) de 230 m, la longitud de onda L se puede determinar mediante la fórmula :

$$L_0 = g T_p^2 / 2\pi$$

donde,

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

$$T_p = 14,01 \text{ s}$$

$$L_0 = 311,1 \text{ m}$$

Por tanto, $d/L = 0.74 > 0.5$ y por tanto la boya de Valencia se encuentra en aguas profundas.

Vamos a propagar el oleaje teniendo en cuenta la subida del nivel del mar.

5.1.- Ángulo de incidencia

Una vez obtenida la profundidad de la boya se encuentra el ángulo de incidencia del oleaje con respecto a la batimetría.

En la siguiente ilustraciones se determina la dirección de la línea de costa y se muestran el ángulo que forma el norte con la perpendicular a la línea de costa, que necesitaremos para introducir en el programa *cress.nl*



Imagen 7.1. Ángulo de la línea de costa. (Fuente: Navionics)

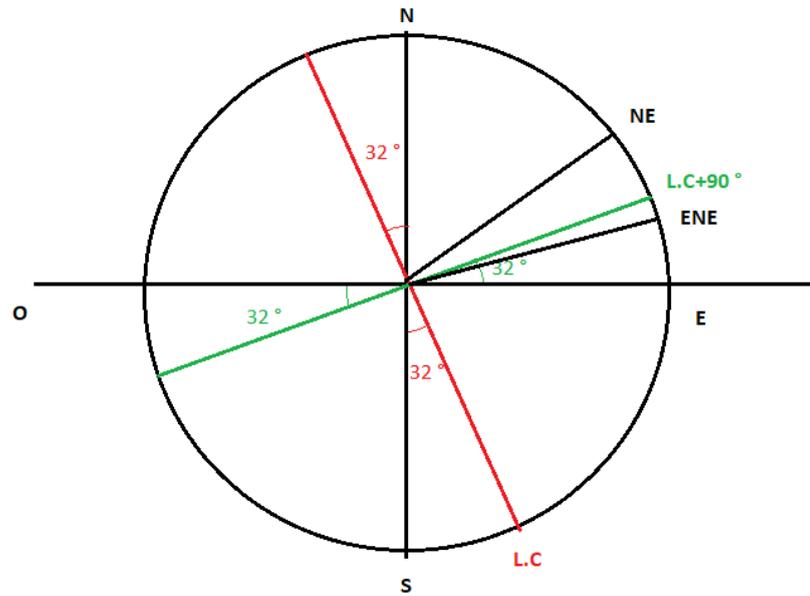


Imagen 7.2. Ángulo de la línea de costa, perpendicular y coordenadas. (Fuente: Navionics)

Se tiene como direcciones principales Norte-Este, Este-Norte-Este, Este. Primero se traza la línea de costa con la ayuda de navionics y su perpendicular, luego se hallan los ángulos de incidencia con respecto a las direcciones principales

Dirección	Grados respecto al norte	Grados respecto a L.C+90
NE	45°	13°
ENE	67,5°	10,5°
E	90°	32°

Tabla 7. Ángulo de incidencia . (Fuente: Navionics)

5.2.- Régimen medio

Para estimar la propagación del oleaje, se va a usar el programa CRESS (Coastal and River Engineering Support System) desarrollado por la universidad de DELFT^[9]

Los datos que se necesitan para el programa son:

- h , profundidad a pie de dique
- T_m , el periodo pico
- H_0 , altura de ola en aguas profundas
- θ_0 , ángulo de incidencia

El valor de salida es H , la altura de ola a pie de dique y del estado de rotura de la

ola.

Input				Output				
<input type="radio"/> h	7,4	-	+	m	K_r	0,96	-	+
<input type="radio"/> T_m	7,57	-	+	s	K_s	0,94	-	+
<input type="radio"/> H_0	3,2	-	+	m	U	5,25	-	+
<input type="radio"/> θ_0	30,00	-	+	°	L	152,37	-	+
<input checked="" type="radio"/> H	1,81	-	+	m	Commentary	Lin. theory ok		
					Commentary	broken wave		
Input				Output				
γ	0,00	-	+		L_{0p}	224,64	-	+
Calculate				Save				
Load				Graphic				
Report								

Imagen 8. Captura de pantalla del programa. (Fuente: Cress.nl)

En la siguiente tabla se recogen los resultados proporcionados por el programa.

Para h se ha tomado: **Altura a pie de dique + carrera de marea más alta registrada + subida del nivel del mar**. Se ha utilizado el valor de 7 metros para altura de pie actual, la cual corresponde con la altura más desfavorable de todo el dique, a saber, la correspondiente al tramo 3.

El valor de H_0 se calculó anteriormente.

	H_0 (m)	Periodo pico (s)	Profundidad a pie de dique(m) (2020)	Subida nivel del mar (m)	Máxima altura registrada de marea (m)	Profundidad a pie de dique (m) estimada (2070)	θ (°)	Altura de ola a pie de dique (m)
ENE	3,2	7,55	7	0,44	0,68	8,12	13	2,99
NE	4	8,31	7	0,44	0,68	8,12	10,5	3,83
E	2	6,17	7	0,44	0,68	8,12	32	1,77

Tabla 4.2 Altura de ola a pie de dique en régimen medio . (Fuente: Elaboración propia)

5.3.- Régimen extremal

Se ha calculado la altura de ola a pie de dique solo para la dirección Norte-Este dado que es la que produce la mayor altura de ola significativa con diferencia respecto a las otras direcciones.

Los valores son los mismos excepto por la altura de ola y el periodo pico, sustancialmente más altos que los del régimen medio por el alto periodo de retorno calculado

	H0(m)	Periodo pico (s)	Profundidad a pie de dique (m) (2020)	Subida nivel del mar (m)	Máxima altura registrada de marea (m)	Profundidad a pie de dique (m) estimada (2070)	$\theta(^{\circ})$	Altura de ola a pie de dique (m)	Altura corregida por rotura (m)
NE	13,47	14,01	7	0,44	0,68	8,12	10,5	15,43	6,33

Tabla 4.2 Altura de ola a pie de dique en régimen extremal. (Fuente: Elaboración propia)

La altura de ola a pie de dique que aparece en la tabla 4.2 se tiene que corregir ya que la profundidad hace que la ola rompa antes de alcanzar la altura obtenida por la propagación.

El valor de esta corrección es de 0.78, por lo que las olas con $H > 0.78d$ romperán. Por lo tanto, la ola más grande que puede haber a una profundidad d es $0.78 d$. El estado del proceso de rotura es el que limita las alturas de ola a pie de dique.

La altura de ola que se tomará para los cálculos de fallo de la estructura será la más desfavorable, es decir, la ola generada por los grandes temporales. Tenemos $H_s = 6,33$ m.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

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





ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	88
2.- CAMBIOS EN LAS COSTAS	
2.1.- <i>Cambio en la dirección predominante</i>	89
2.2.- <i>Cambio en altura de ola significativa</i>	89
2.3.- <i>Cambio en periodo pico</i>	91
2.4.- <i>Cambio en el nivel del mar</i>	91
3.- CONCLUSIÓN	92

1.- INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se va a tratar sobre la influencia del cambio climático en el mar mediterráneo, teniendo en cuenta los cambios que pueden sufrir la altura de ola significativa, la dirección predominante del oleaje, el periodo pico y sobre todo la subida del nivel del mar.

Para esta labor, tenemos el documento *“Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española”* del instituto de hidráulica ambiental de la universidad de Cantabria.

2. CAMBIOS EN LAS COSTAS

Las costas son zonas especialmente susceptibles a los impactos del cambio climático, al situarse en la interfaz entre la tierra y el mar, y albergar distintos procesos que las convierten en zonas altamente dinámicas. Las condiciones climáticas de diversas variables marinas, tales como la temperatura, el viento o nivel del mar, pueden verse alteradas por el efecto del cambio climático, convirtiéndose en generadores de impactos costeros que pueden afectar a los bienes, infraestructuras o ecosistemas. Los principales impactos identificados en la costa son la inundación y la erosión, que dependen principalmente de variables superficiales marinas, tales como el oleaje, la marea meteorológica y el aumento del nivel medio del mar. Sin embargo, los estudios para estimar las consecuencias del cambio climático en la costa generalmente se limitan a considerar únicamente el efecto gradual de aumento del nivel medio del mar, sin tener en cuenta posibles cambios en las condiciones climáticas de las dinámicas del oleaje y la marea meteorológica. Esto se debe a la complejidad en el análisis de las proyecciones de estas variables y su inclusión en los modelos de impacto. No obstante, tanto el oleaje como la marea meteorológica, especialmente cuando alcanzan valores extremos, son generadas por ciertas condiciones de la circulación atmosférica-oceánica regional que pueden estar siendo modificadas por el cambio climático.

En el marco del proyecto *“Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático en la costa española”*, perteneciente al Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (PIMA Adapta), financiado por este Ministerio, se han desarrollado proyecciones regionales de cambio climático de variables marinas necesarias para el estudio de impactos costeros a lo largo de toda la costa española.

Las variables disponibles son:

- Oleaje
- Nivel del mar asociado a la marea meteorológica,
- Aumento del nivel medio del mar
- Temperatura superficial del mar.

Tenemos a nuestra disposición el visor C3E que nos permite una visión gráfica de los datos calculados.

2.1.- Cambio en la dirección predominante

A partir del visor C3E obtenemos la variación de la dirección predominante del oleaje en relación a la actual, es decir NE. La imagen (1) proporciona una visión gráfica de los cambios esperados.[11]

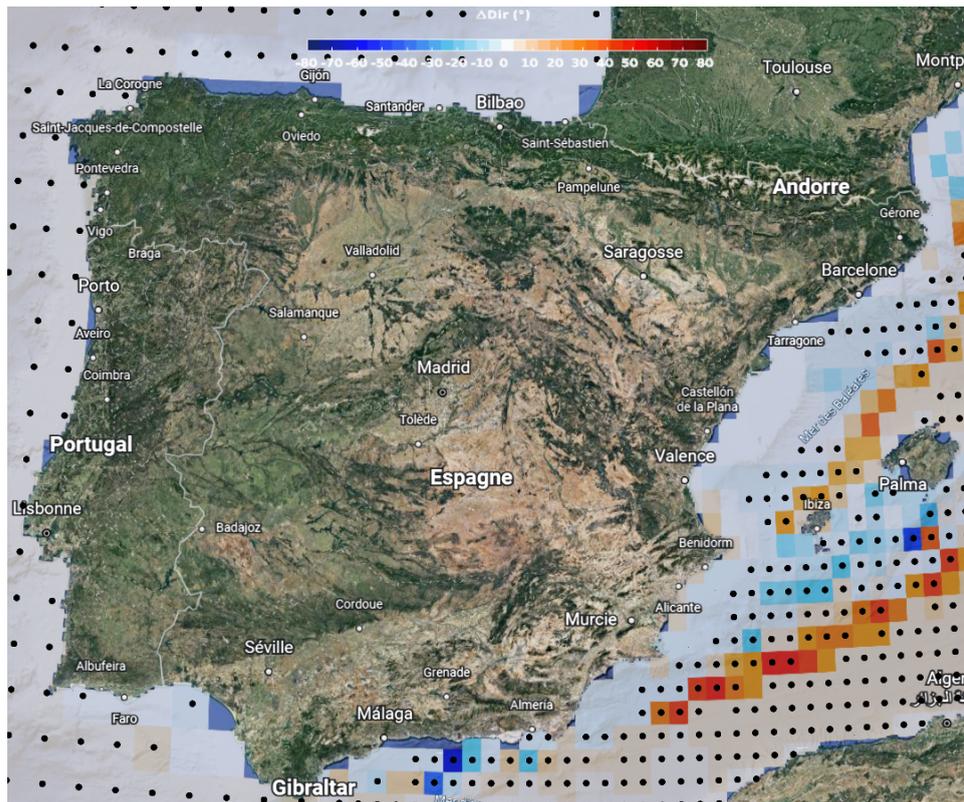


Imagen 1. Variaciones en la dirección predominante del oleaje. (Fuente: Gobierno de España)

En el mediterráneo la dirección media del oleaje tiende a aumentar o disminuir de forma local, aunque siempre se espera que estos cambios sean inferiores al 10%. Por lo tanto, se puede considerar como nimio el cambio de dirección debido al cambio climático

2.2.- Cambio en altura de ola significativa

Los resultados de las proyecciones a futuro, muestran que el valor de ambas tiende a disminuir tanto a corto como a largo plazo, en toda la costa española salvo en el mar de Alborán e islas Canarias.

Existe concordancia en el signo del cambio de la Hs media en la mayoría de los modelos climáticos, a excepción de las islas Canarias y mar de Alborán. Esta concordancia disminuye cuando se analizan los valores extremos, principalmente a

corto plazo

Se puede considerar nimio el cambio en altura de ola significativa por ser del orden de menos del 5% . Las siguientes imágenes recogen los datos proyectados.

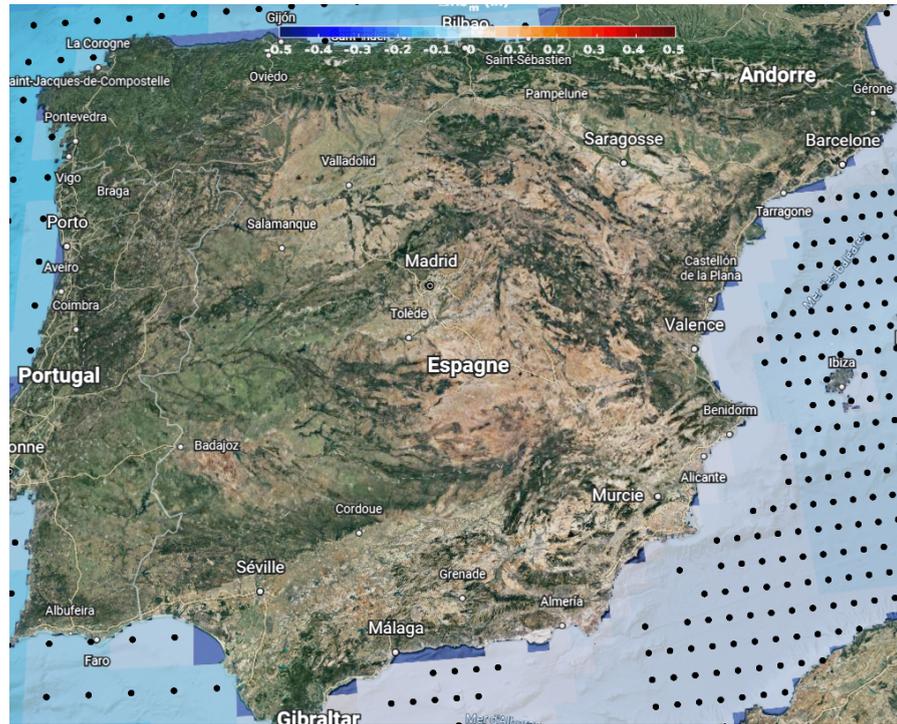


Imagen 2.1. Incrementos de altura significativa de ola. (Fuente : Gobierno de España)

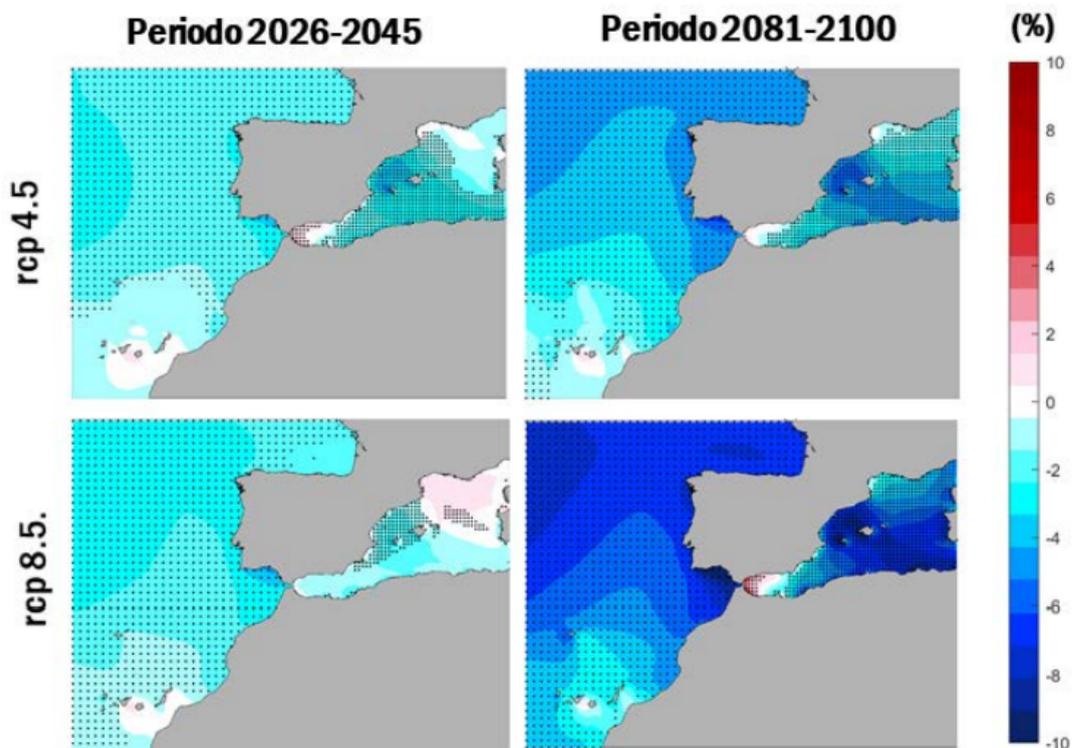


Imagen 2.2. Cambios en el valor medio de la altura de ola significativa (H_s) para dos escenarios y periodos analizados (Fuente : Gobierno de España)

2.3.- Cambio en periodo pico

Respecto al percentil del 99% del periodo de pico, su valor oscila entre los 8-18 s a lo largo de la costa española (Imagen 3). Se espera que este valor disminuya ligeramente (descenso inferior al 4%) en la mayor parte de la costa.

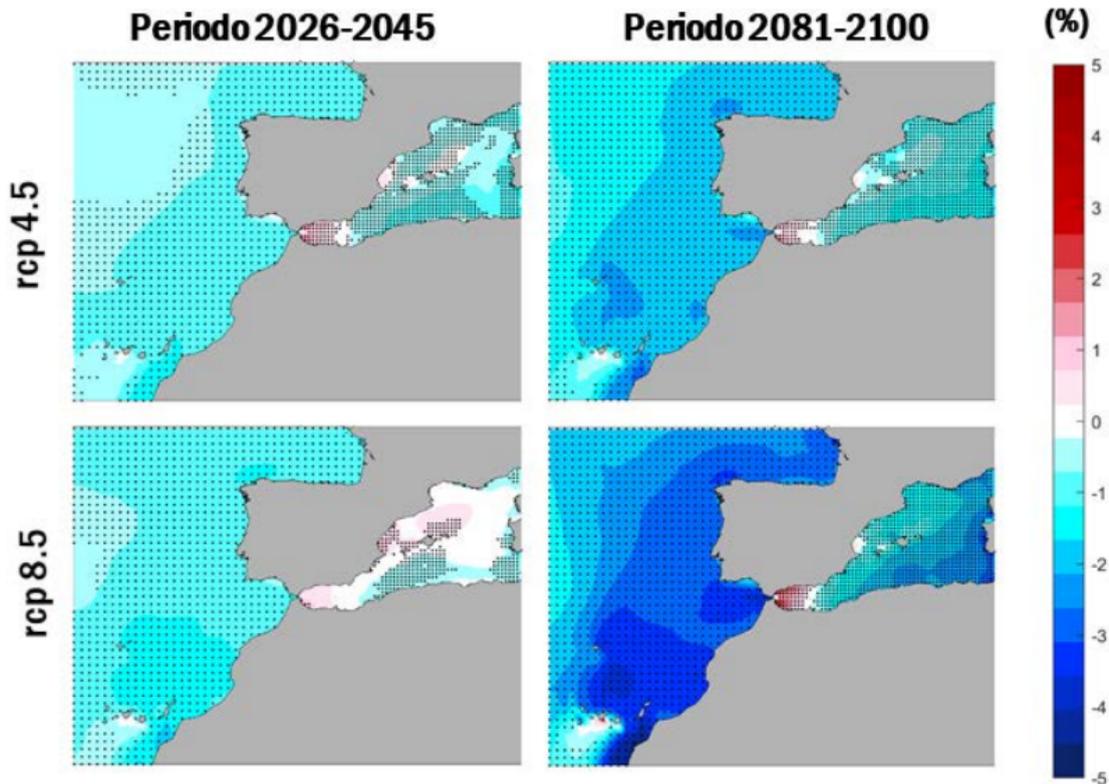


Imagen 3. Cambios en el valor medio del periodo de pico (T_p) para dos escenarios y periodos analizados. (Fuente : Gobierno de España)

Se considera nimio el cambio del periodo pico.

2.4.- Cambio en el nivel del mar

Se calculó el aumento del nivel del mar en el apartado 4.2. *Subida del nivel del mar* del anejo Clima marítimo para poder propagar el oleaje teniendo en cuenta ese factor. Sin embargo, podemos verificar que los datos hallados con el visor de la NASA coinciden con las proyecciones disponibles en el documento “*Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático en la costa española*”.

Los resultados de las proyecciones climáticas de nivel medio del mar muestran un aumento a corto plazo (periodo 2026-2045) de entre 0.13-0.17 m (± 0.03 m) en las costas españolas, para ambos escenarios climáticos. Sin embargo, el aumento estimado a largo plazo (período 2081-2100) varía en función del escenario climático. Mientras que para el escenario rcp4.5 se estima un ascenso de entre 0.38-0.5 m (± 0.1 m), para el

escenario rcp8.5, se prevé una subida del nivel medio del mar de entre 0.52-0.68 m (± 0.15 m).

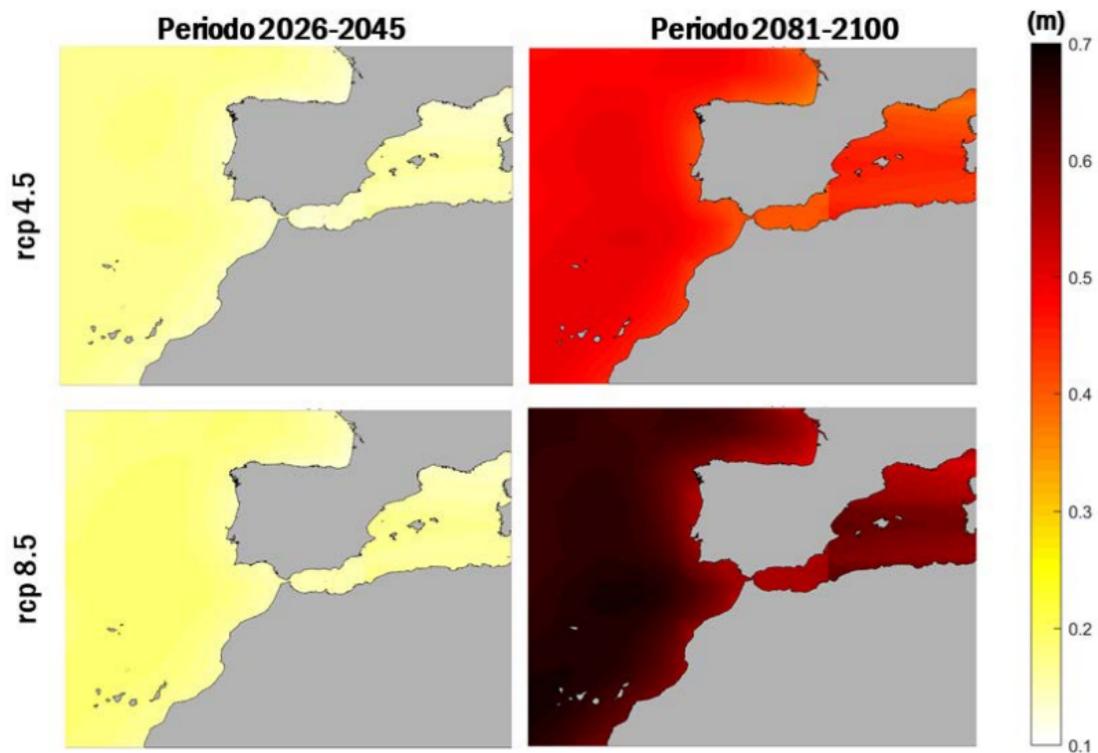


Imagen 4. Aumento en el nivel medio del mar (NMM) para los dos escenarios y periodos analizados. . (Fuente: Gobierno de España)

Los resultados coinciden con los hallados en el apartado 4.2 de Clima Marítimo, es lógico debido al hecho que ambos se basan en las proyecciones publicadas por el IPCC. Si que es considerable el aumento del nivel del mar y se tiene que tener en cuenta para poder adaptar las obras de abrigo del puerto de Gandía.

3.- CONCLUSIÓN

Tras haber estudiado el cambio en:

- La dirección principal de oleaje
- La altura de ola significativa
- El periodo pico
- EL nivel del mar

Se puede afirmar que el cambio principal a tener en cuenta para los cálculos de modo de fallo es la variación del nivel del mar, sustancialmente superior al resto. Cómo calculado en el apartado 4.2 de *Clima marítimo*, se toma 0,44 m para dicho valor.



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 MODOS
DE FALLO DE LA OBRA DE
ABRIGO*





ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	96
2.- MODOS DE FALLO DE LAS OBRAS DE ABRIGO	
2.1.- Rebase en el espaldón	98
2.2.- Pérdida de las unidades del manto principal y rotura de los mismos	100
2.3.- Inestabilidad del espaldón. Vuelco y deslizamiento	102
2.3.1- Fuerzas horizontales	103
2.3.2- Fuerzas verticales	104
2.3.3- Deslizamiento	104
2.3.4- Vuelco	105
3.- CONCLUSIÓN	106

1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se van a establecer los potenciales modos de fallo que se pueden producir debido al cambio climático y su efecto más adverso, que como visto anteriormente, es la subida del nivel del mar.

Tomaremos como referencia para los calculos y los conceptos teoricos el libro *Diseño de Diques Rompeolas* escrito por Vicente Negro Valdecantos y Ovidio Varela Carnero así como los avances en este campo del Dr Jorge Molinés diplomado en la Escuela Tecnica Superior de Caminos Canales y Puertos (UPV).^[12]

2.- MODOS DE FALLO DE LAS OBRAS DE ABRIGO

De acuerdo con los elementos de un Dique en Talud descritos en el apartado *características del dique norte*, es posible distinguir los modos de fallo principales del mismo. Estos son:

- Pérdida de las unidades del manto principal y rotura de los mismos al ser desplazado o arrastrado por la acción de las olas. Esta modalidad de fallo es generalmente gradual, progresiva en las piezas masivas, aumentando en rigidez en función de los tipos de unidad de trabazón.
- Pérdida de material de filtro o todo uno por el movimiento del agua en el interior del macizo, por el flujo y reflujos que puede lavar los distintos elementos de las capas y extraerlos entre los huecos de las suprayacentes. Es un modo de fallo gradual.
- Estabilidad de banquetas y berma que refuerzan y sujetan el pie del talud y controlan los posibles efectos erosivos y de socavación progresiva, con niveles de daños admisibles dentro de su riesgo de iniciación de avería. Es un modo de fallo gradual.
- Movimiento del espaldón, condicionado por la acción directa de la altura de ola máxima o los efectos del oleaje transmitido a través de los huecos del manto en el movimiento libre del fluido entre las capas. Es un modo de fallo instantáneo
- Socavación del terreno natural en las proximidades del pie del dique conectando con la estabilidad de bermas y banquetas. Es un modo de fallo gradual.
- Asientos derivados del enorme volumen dispuesto sobre el lecho condicionando la cota de coronación y el efecto sobre la superestructura, el firme, la explanada o el espaldón. Es un modo de fallo gradual.
- Estabilidad profunda-global del macizo granular a nivel de deslizamiento geotécnico del mismo. Debe considerarse como un modo de fallo de naturaleza instantánea.

- Pérdida o desplazamiento de unidades o elementos del material de protección situado en el trasdós del dique, generalmente causado por problemas hidráulicos derivados de una escasa determinación de la cota de coronación y un caudal de rebase excesivo. El modo de fallo es gradual y puede ser por erosión o deslizamiento.
- El clásico modo de fallo funcional es el rebase. Muchos diques se diseñan admitiendo un nivel de caudal de descarga de agua por encima del manto y espaldón determinado.

La figura 3 permite observar los diferentes modos de fallo de este tipo de obra marítima exterior tan frecuente como es el dique rompeolas en talud.

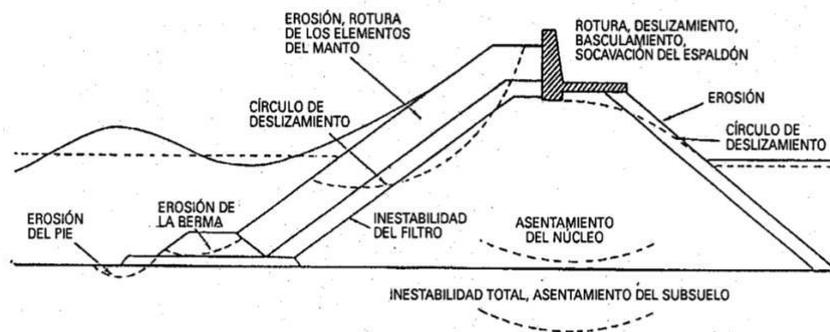


Figura 1. Modos de fallo clásico de un dique en talud. (Fuente: Vicente.N)

En este estudio no se va a realizar una verificación de cada uno de los modos de fallo expuestos anteriormente sino los que tienen una relación directa con la altura de ola significativa y la subida del nivel del mar con un modo de fallo instantáneo, a saber :

- Pérdida de las unidades del manto principal y rotura de los mismos.
- Rebase
- Movimiento del espaldón. Vuelco y deslizamiento.

Se analizan los tramos 2 y 3 del Dique Norte, teniendo cada uno un manto superior distinto. Cómo calado a pie de dique, se tienen los siguientes datos:

Dique Norte	Profundidad a pie de dique (m) (2020)	Subida nivel del mar (m)	Máxima altura registrada de marea (m)	Profundidad a pie de dique (m) estimada (2070)
Tramo 3	7	0,44	0,68	8,12
Tramo 2	6	0,44	0,68	7,12

Tabla 2. Profundidad a pie de dique

2.1.- Rebase del espaldón

En este apartado se va llevar a cabo el cálculo de rebase, entendido como el volumen de agua que pasa por encima del espaldón. Dado que es un dique rompeolas y que su fallo no supone un peligro para la vida humana, el rebase se considera que afecta al estado límite de servicio (ELS).

Las fórmulas disponibles son proporcionadas por el *EurOtop, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*^[13] el cual se encuentra en su segunda edición. Para un dique en talud con manto de bloques o escollera y espaldón, la fórmula es la siguiente:

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

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

Donde,

q es el valor de la descarga de rebase en m³/s/m.l.

g es la aceleración de la gravedad.

R_c es la distancia entre la superficie del mar y la cota de coronación del espaldón (francobordo).

H_{m0} es descrita en el manual como "The wave height used in the wave run-up and overtopping formula is the incident significant wave height H_{m0} at the toe of the structure", por lo tanto es la altura de ola significativa a pie de dique.

G_c es el ancho de la berma.

γ_f es un coeficiente debido a la fricción de los bloques.

γ_β es un coeficiente debido al ángulo del oleaje.

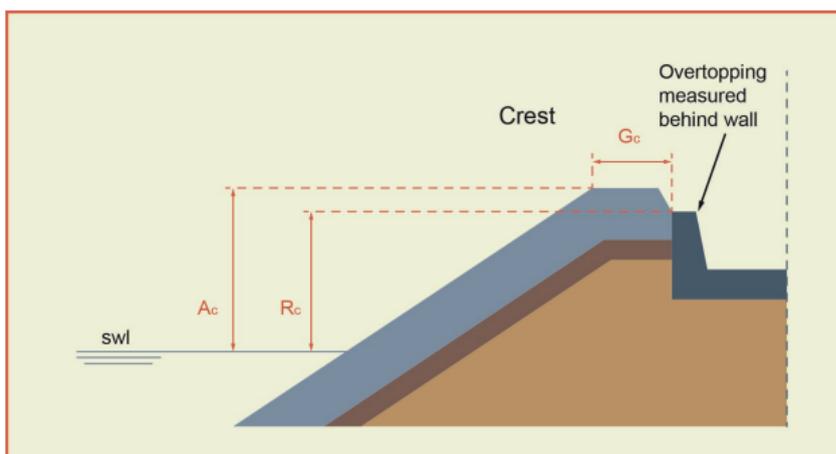
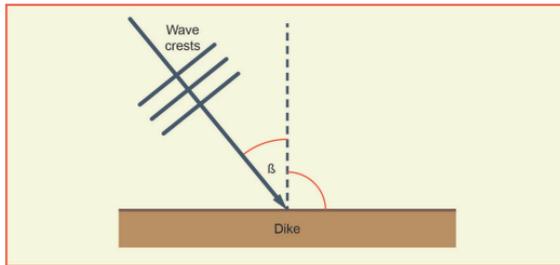


Imagen 1. Gráfica de las variables Ac, Rc, Gc. (Fuente: EurOtop)

En la fórmula intervienen dos coeficientes que tiene un impacto considerable en el resultado, el primero es el coeficiente de dirección del oleaje γ_β, se determina de la siguiente forma:



$$\gamma_{\beta} = 1 - 0.0033 |\beta| \quad \text{for: } 0^{\circ} \leq \beta \leq 80^{\circ} \quad (\text{short-crested waves})$$

$$\gamma_{\beta} = 0.736 \quad \text{for: } |\beta| > 80^{\circ}$$

5.29

Imagen 2. Cálculo del coeficiente debido a la dirección del oleaje. (Fuente: EurOtop)

Sabiendo que la dirección predominante del oleaje es NE, se estima un γ_B igual a 0,91. Respecto al ángulo de fricción, se toma 0,5 por ser un valor común para cubos de hormigón.

Introduciendo los valores en excel se tiene la siguiente tabla, categorizada por los tramos 2 y 3:

Tramo	Hm0 (m)	Rc (m)	yf	yb	Cr	q (m³/s/m.l)	q (l/s/m.l)
2	5,55	7,88	0,5	0,91	1	0,0024534	2,45
3	6,33	7,88	0,5	0,91	1	0,0081210	8,12

Tabla 1. Cálculo del caudal de rebase. (Fuente: elaboración propia)

El caudal calculado para el tramo 2 es de 2,45 l/s/m.l y el caudal para el tramo 3 es de 8,12 l/s/m.l.

A continuación, se tiene las tablas del eurotop para saber qué nivel de rebase es aceptable en función de lo que se encuentra detrás del espaldón

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Rubble mound breakwaters; H _{m0} > 5 m; no damage	1	2,000-3,000
Rubble mound breakwaters; H _{m0} > 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 _{m0} = 1 – 3 m	5	2,000-3,000
Grass covered crest and landward slope; not maintained grass cover, open spots, moss, bare patches; H _{m0} = 0.5 – 3 m	0.1	500
Grass covered crest and landward slope; H _{m0} < 1 m	5-10	500
Grass covered crest and landward slope; H _{m0} < 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 _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 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 _{max} (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 _{m0} = 3 m H _{m0} = 2 m H _{m0} = 1 m H _{m0} < 0.5 m	0.3 1 10-20 No limit	600 600 600 No limit
Cars on seawall / dike crest, or railway close behind crest H _{m0} = 3 m H _{m0} = 2 m H _{m0} = 1 m	<5 10-20 <75	2000 2000 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)

Tomaremos como valor máximo de rebase permitido 15 l/s/m.l.

En este caso el puerto de Gandía si cumple con las restricciones de rebase propuestas por el EurOtop (2018).

2.2.-Pérdida de las unidades del manto principal y rotura de los mismos

En general, los mantos principales de los diques en talud suelen diseñarse en base a formulaciones empíricas basadas en ensayos físicos a escala reducida con semejanza de Froude. La fórmula que ha venido empleándose tradicionalmente es la fórmula de Hudson popularizada por el Shore Protection Manual-SPM (1975, 1984), que incluye un coeficiente de estabilidad (KD) que depende del tipo de pieza (escollera, tetrápodos, cubos, etc.):

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

Donde,

H es la altura de ola de diseño.

γ_r es el peso específico del hormigón o de la escollera

γ_w es el peso específico del agua del mar

α es el ángulo que forma el talud con la horizontal.

Tenemos en el tramo 2, una altura de ola de diseño de 5,55m que corresponde a la altura hallada para los grandes temporales, estimamos a 2600 kg/m^3 el peso de la escollera y a 1025 kg/m^3 el peso del agua salada. Sabemos que el talud del manto principal es de 3/1 por lo que el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal es de $19,4^\circ$. Por último, el coeficiente de estabilidad es igual a 6.

Se recogen los datos en la siguiente tabla:

H(m)	$\gamma_r \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_w \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\alpha \text{ (o)}$	K_D	W (Kg)
5,55	2600	1025	19,4	5	5.642,7

*Tabla 3. Peso teórico de escollera del manto superior del tramo 2.
(Fuente: elaboración propia)*

El peso determinado por la fórmula de Hudson es de 8,6 toneladas aproximadamente. En la actualidad, en el tramo 2 está colocada escollera de 6 toneladas, por lo que no haría falta una obra de adaptación.

En el tramo 3, una altura de ola de diseño de 6,33 m que corresponde a la altura hallada para los grandes temporales, estimamos a 2400 kg/m^3 el peso del hormigón ya que este tramo está constituido por bloques de hormigón y a 1025 kg/m^3 el peso del agua salada. Sabemos que el talud del manto principal es de 3/1 por lo que el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal es de $19,4^\circ$. Por último, el coeficiente de estabilidad es igual a 6.

H(m)	$\gamma_r \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_w \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\alpha \text{ (o)}$	K_D	W (Kg)
6,33	2600	1025	19,4	6	10.665

*Tabla 3. Peso teórico de escollera del manto superior del tramo 3.
(Fuente: Elaboración propia)*

El peso determinado por la fórmula de Hudson es de 10,6 toneladas aproximadamente. En la actualidad, en el tramo 3 están colocados bloques de hormigón de 24 toneladas, por lo que no hace falta ninguna obra de adaptación.

En cualquier caso, se recuerda que tanto la fórmula de Hudson como la mayoría de las formulaciones empleadas para el diseño de diques en talud, son formulaciones empíricas que se han obtenido a partir de ensayos físicos en condiciones de oleaje no rompiente. De modo que se tiene que interpretar con precaución los resultados cuando se disponen diques en talud a una profundidad tal que el oleaje incidente rompe a causa del efecto del fondo.

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

Numerosas fórmulas empíricas se han ido ensayando a lo largo de los años, Molines (2015) refleja lo concluido mediante la siguiente tabla en su tesis doctoral. RMSE se refiere a la raíz del error cuadrático medio [14]

Formulación del autor	rMSE ($F_{h0,1\%}$)	rMSE ($F_{v0,1\%}$)
Jensen (1984)	89,5 %	115,9 %
Pedersen (1996)	22,4 %	123,0 %
Martin et al. (1999)	40,6 %	51,1 %
Berenguer and Baonza (2006)	132,7 %	22,0 %
Nørgaard et al. (2013)	23,7 %	123,0 %

Tabla 2 rMSE de las diferentes formulaciones comentadas para estimación de fuerzas en el espaldón. (Fuente: Molinés (2015))

Las fórmulas propuestas en Molines et al(2015) para obtener la fuerza horizontal máxima, con un rMSE equivalente a 20,5%, así como la fuerza vertical concomitante a la horizontal máxima, con un rMSE de 7,3% son las que se va a utilizar para los siguientes cálculos.

2.3.1- Fuerzas horizontales

Tenemos para calcular la fuerza horizontal la siguiente fórmula:

$$Fh = \frac{Fh_{0.1\%}}{(0.5\rho g C_h^2)} = 3.6 + 0.6 \cdot \log Q$$

$$Q_{MM} = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$$

Donde,

$Fh = Fh_{0,1\%}$ es la fuerza horizontal en N/m.

ρ es la densidad del agua en Kg/m³

g es la aceleración de la gravedad en m/s²

C_h es la altura del espaldón.

q es el rebase en (m³/s/m.l.)

H_{m0} es la altura de ola de cálculo en m.

En la siguiente tabla se recogen los resultados:

Tramo	Hm ₀ (m)	Ch (m)	ρ (kg/m ³)	g (m ² /s)	q (m ³ /s/m.l)	Fh (N/m)
2	5,55	9	1025	9,81	0,001418	376.141
3	6,33	9	1025	9,81	0,005021	489.381

Tabla 3. Cálculo de las fuerzas horizontales.

2.3.2- Fuerzas verticales

Tenemos para calcular la presión vertical la siguiente fórmula:

$$PbF = \frac{PbFh_{0.1\%}}{(0.5\rho g C_h)} = 0.02 \cdot \left(\frac{F_c}{L_{0p}} \right)^{-1/2}$$

$$L_{0m} = gT_m^2 / (2\pi)$$

Donde,

PbF=Pbfh_{0,1%} es la presión vertical en N/m² .

ρ es la densidad del agua en Kg/m³ .

g es la aceleración de la gravedad en m/s² .

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.

L_{0p} es la longitud de onda asociada al periodo pico

La magnitud que se obtiene con esta fórmula es una presión (N/m²), por lo que se tiene que multiplicar por la mitad de la anchura del espaldón para obtener la fuerza vertical (anchura del espaldón igual a 5 m). Se recogen los datos en la siguiente tabla:

Tramo	Tp (s)	Ch (m)	ρ (kg/m ³)	g (m ² /s)	Fc	Pv (N/m ²)	Fv (N/m)
2	14,01	9	1025	9,81	1	31 692,6	79 231,5
3	14,01	9	1025	9,81	1	31 692,6	79 175,0

Tabla 4. Cálculo de las fuerzas verticales.

2.3.3- Deslizamiento

Como expuesto anteriormente, el espaldón tiene que cumplir la igualdad $(W - \Sigma F_v)\mu \geq \Sigma F_h$ para no deslizarse.

El peso por metro lineal W es igual a la sección del espaldón por la densidad del mismo. La sección se halla dividiendo el espaldón en 4 rectángulos :

$$5 \cdot 1,5 + 2,25 \cdot 4 + 2,5 \cdot 3 + 1,25 = 25,25 \text{ m}^3$$

La densidad del hormigón se considera 2500 kg/m^3

$$p = 25,25 \cdot 2500 = 63,125 \text{ kg/m}$$

$$W = p \cdot g = 619,25 \text{ kn/m}$$

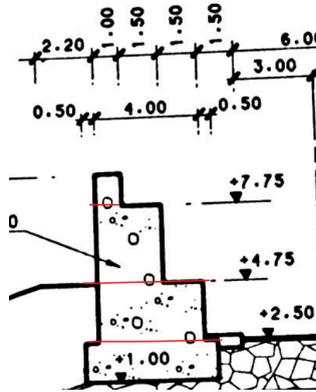


Imagen 4. División del espaldón en cuatro rectángulos.

Tramo	W (N/m)	Fv (N/m)	Fh (N/m)	u	Coefficiente de seguridad
2	619 250	79 231	376 141	1	1,435680877
3	619 250	79 175	489 381	1	1,10358799

Tabla 5. Cálculo del CSD.

El tramo 2 y 3 cumplirían con la normativa.

2.3.4- Vuelco

En cuanto al vuelco, el espaldón tiene que cumplir la igualdad $M_w \geq \Sigma MFh + \Sigma MFv$.

Para el momento debido a las fuerzas horizontales, tenemos la siguiente fórmula:

$$MhF = \frac{Mh(Fh_{0.1\%})}{(\rho g C_h^3)} = 1.08 + 0.18 \cdot \log Q$$

$$Q_{MM} = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$$

q es la densidad del agua en Kg/m^3 .

g es la aceleración de la gravedad en m/s^2 .

C_h es la altura del espaldón.

H_{m0} es la altura de ola de cálculo en m.

El momento debido a las fuerzas horizontales es para el tramo 2 es de :

1 532, 496 kN*m/m

El momento debido a las fuerzas horizontales es para el tramo 3 es de :

1 908, 100 kN*m/m

Para el momento debido a las fuerzas verticales, lo podemos calcular de la forma tradicional ya que la distribución de fuerzas verticales corresponde a una carga progresiva representada por el triángulo en el esquema 1.

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

Se multiplica por $\frac{2}{3}$ la fuerza vertical desde el punto de vuelco del espaldón.

El momento debido a las fuerzas verticales para el tramo 2 es de :

264,103 kN*m/m

El momento debido a las fuerzas verticales para el tramo 3 es de :

264,103 kN*m/m

El momento debido al peso propio es :

W*2,73 =1 671 000 N*m/m

Se resume en la siguiente tabla los momentos, las fuerzas halladas y el coeficiente de seguridad frente al vuelco (CSV) el cual es igual al momento estabilizador dividido por los momentos que provocan el vuelco:

Tramo	Fh (N/m)	Fv (N/m)	Mv (N*m/m)	Mh (N*m/m)	Mw	CSV
2	376 141	79 231,55	264 103	1 532 496	1 671 000	0,93
3	489 381	79 175,00	264 103	1 908 100	1 671 000	0,77

Tabla 6. Cálculo del CSV.

Ninguna de las dos ecuaciones cumple con el coeficiente de seguridad mínimo, por lo que habrá que realizar unas obras de adaptación.

3.- CONCLUSIÓN

Por medio de este análisis, se ha llegado a la conclusión de que sería necesario hacer algunas obras de adaptación para conseguir un coeficiente de seguridad al vuelco aceptable, así como reforzar el tramo del dique norte para evitar un movimiento excesivo de los elementos del manto.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

ANEJO 6.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS





ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	110
2.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	110
2.1.- <i>Variables a modificar y tipo de soluciones</i>	110
2.2.- <i>Alternativa 1: Aumentar el ancho de coronación</i>	112
2.3.- <i>Alternativa 2: Aumentar la altura y volumen del espaldón</i>	113
2.4.- <i>Alternativa 3: Alternativa 3: solución mixta</i>	114
3.- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	115
3-1- <i>Criterios de elección y ponderación</i>	115
3-2- <i>Matriz de análisis multicriterios</i>	117
3-3- <i>Valoración económica</i>	120

1.- INTRODUCCIÓN

Como se ha señalado previamente en este estudio, la subida del nivel del mar debido al cambio climático va a tener consecuencias sobre las infraestructuras del puerto y especialmente en las obras de abrigo como el dique norte. El riesgo de daños tanto material como de personas es real y no actuar teniendo conciencia de ello sería un error. La respuesta a esta problemática es la de tomar medidas en la actualidad con el objetivo de estar preparados para cualquier eventualidad.

2.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

A continuación, se proponen tres alternativas con el fin de adaptar la sección del dique norte al cambio climático. Se realiza un análisis multicriterios con factores estéticos, técnicos, funcionales, ambientales y económicos y se escoge la solución que mejor puntuación obtiene en la matriz de soluciones. Cabe destacar que el siguiente anejo no es un estudio de soluciones como se podría encontrar en un auténtico proyecto, sino que el objetivo es de dar una idea global de la situación, por lo que no se va a desarrollar extensivamente las descripciones.

2.1.- Variables a modificar y tipo de soluciones

Como visto en el *Anejo 5 Estudio de modo de fallos de la obra de abrigo*, las principales adaptaciones tienen que ver con la estabilidad del espaldón, en particular su seguridad frente al vuelco generado por la gran fuerza horizontal de la ola significativa. Uno de los objetivos de la actuación es la de reducir el momento horizontal, el cual se obtiene con la fórmula propuesta por Molinés (2016):

$$MhF = \frac{Mh_{(Fh0.1\%)}}{(\rho g C_h^3)} = 1.08 + 0.18 \cdot \log Q$$

La cual depende C_h (cota del espaldón) y de Q , cuya fórmula es:

$$Q_{MM} = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$$

Cuyo resultado depende de H_{m0} (altura de ola significativa) y q (caudal de rebase) cuya fórmula es:

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

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

Con todas estas fórmulas, se puede llegar a la conclusión que las soluciones para

reducir el momento horizontal se reparten en dos tipos; las soluciones que se desarrollan para reducir el caudal de rebase q , y las que se desarrollan para aumentar la cota del espaldón C_h .

Por otra parte, tenemos la posibilidad de aumentar el momento estabilizador (generado en su totalidad por el peso del espaldón) para equilibrar el coeficiente de seguridad frente al vuelco.

A continuación se resumen las soluciones en el siguiente diagrama [1]:

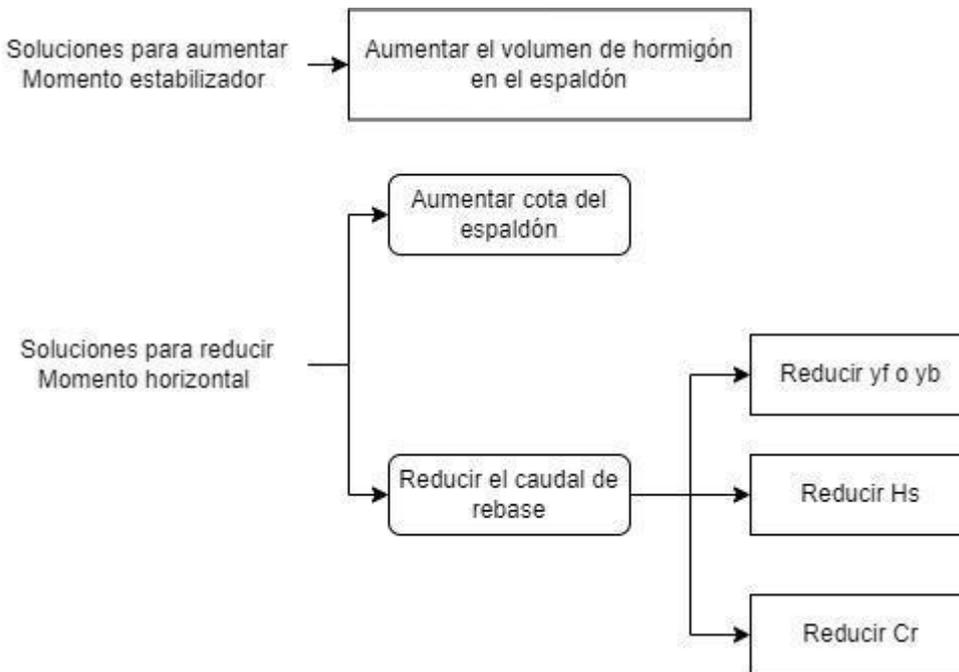


Diagrama 1. Soluciones para aumentar el CSV.

Cabe destacar que algunas soluciones pueden influenciar varias variables a la vez, como por ejemplo el hecho de aumentar la cota del espaldón que a la vez aumenta el volumen de hormigón.

En todas las soluciones se propone aumentar el peso de los elementos exteriores del dique 2.

Para la obtención de los coeficientes de seguridad, tanto de deslizamiento como frente al vuelco se toman los valores mínimos proporcionados por la ROM 0.5-0.5 para la combinación accidental, ya que la altura de ola significativa corresponde a la de un gran temporal, teniendo una probabilidad de ocurrencia muy baja.

Según la ROM 0.5-0.5_[15]:

“ Cuando en la verificación del modo de fallo se considere la actuación de una acción extraordinaria, sea o no accidental, con una probabilidad de presentación muy baja durante el intervalo considerado y , a la vez, con un periodo de actuación corto, el valor de compatibilidad de las acciones variables que actúan de forma simultánea debe ser claramente menor. Para cada acción excepcional que pueda presentarse, existirá una combinación accidental que puede formularse en los términos siguientes:

$$G + A + \psi_1 \cdot Q_1 + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_i \text{ para } i \text{ entre } 2 \text{ y } n$$

donde,

G = acciones permanentes.

A = acción extraordinaria.

Q1 = acción variable principal o predominante en la ocurrencia del modo de fallo y acciones variables de actuación simultánea directamente dependientes de la predominante.

Qi = otras acciones variables de actuación simultánea compatibles con la predominante e independientes estadísticamente de la misma.

ψ_1 = coeficiente de compatibilidad frecuente.

$\psi_{2,i}$ = coeficientes de compatibilidad cuasi-permanente.”

A continuación, se presentan las tablas con los coeficientes de seguridad mínimos para los dos modos de fallo estudiados:

Tabla 3.5.6. Coeficientes de seguridad mínimos frente al vuelco plástico. Obras de carácter ISA bajo (5 a 19)

Tipo de combinación	Valor mínimo, F
Cuasi-Permanente, F ₁	1,5
Fundamental, F ₂	1,3
Accidental o Sísmica, F ₃	1,1

Tabla 3.5.5. Coeficientes de seguridad mínimos frente al deslizamiento horizontal. Obras de carácter ISA bajo (5 a 19)

Tipo de combinación	Coefficiente de seguridad al deslizamiento, F
Cuasi-Permanente, F ₁	1,5
Fundamental, F ₂	1,3
Accidental o Sísmica, F ₃	1,1

Por lo tanto, se toma un coeficiente de seguridad frente al vuelco y frente al deslizamiento de 1,1.

2.2.- Alternativa 1: Aumentar el ancho de coronación

El aumento del ancho de coronación es la primera solución propuesta para reducir el caudal de rebase y así reducir las fuerzas horizontales. En este caso lo que se busca es reducir Cr aumentando el ratio Gc/H_{m0}.

Para obtener un CSV aceptable, se calcula el Cr siguiente, seguido de Gc:

Tramo	q (l/s/m.l)	CSV	Cr	Gc (m)
2	0,94	1,1	0,60	6
3	1,09	1,1	0,20	10

Tabla 1. Nuevo ancho de coronación (fuente: elaboración propia)

Para no tener que hacer una ampliación del manto superior por evidentes motivos económicos, se tendría que hacer una operación de retranqueo del espaldón. Se puede ver en las siguientes imágenes cómo quedaría el dique después de esta actuación. El tramo 3 sería factible dado que seguiría habiendo más de 4,25m de ancho disponible pero sería problemático el tramo 2 ya que la longitud necesaria para cumplir con el

CSV supone un retranqueo muy elevado que impide el pleno uso del dique.

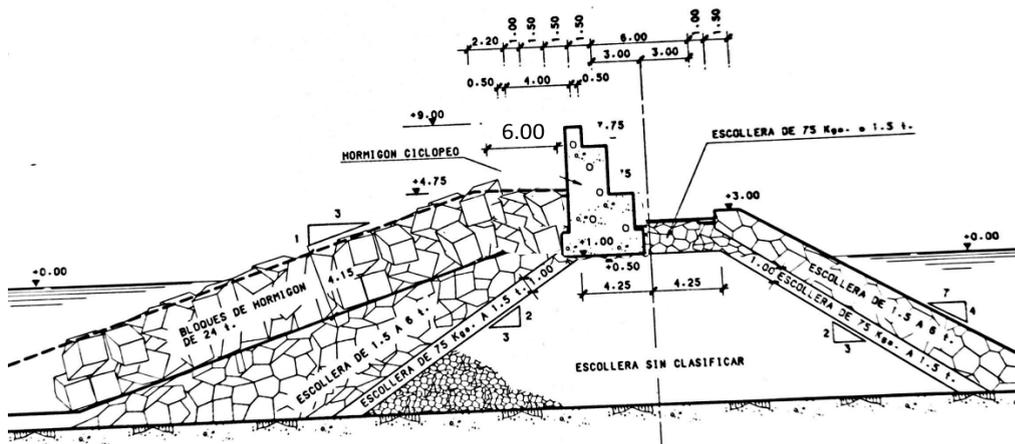


Imagen 1.1 Nueva tipología del tramo 3 del dique norte con retranqueo (fuente: elaboración propia)

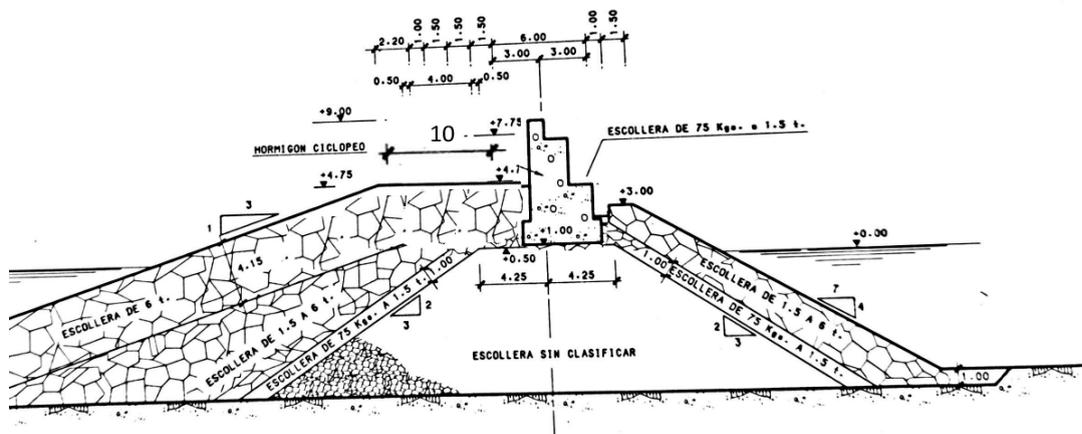
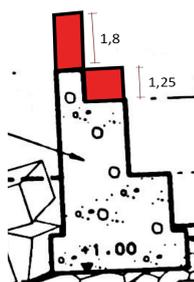


Imagen 1.2. Nueva tipología del tramo 2 del dique norte con retranqueo (fuente: elaboración propia)

2.3.- Alternativa 2: Aumentar la altura y volumen del espaldón

El aumento de la altura del espaldón es la segunda solución propuesta para reducir tanto el momento horizontal como para incrementar el momento estabilizador. Cabe destacar que aparte de los coeficientes de fricción y de dirección del oleaje, la otra variable más significativa en la fórmula del caudal (y con él, del momento horizontal) es el francobordo (Rc), el cual se puede aumentar con una actuación directa del espaldón.

A la vez que se añade hormigón en la extremidad izquierda, se añade también 1,25 m*1,5 m en la cota 7,75 para aumentar el peso de la estructura (ver esquema 1)



Esquema 1 Nueva tipología del espaldón (fuente: elaboración propia)

Se calcula los nuevos momentos estabilizadores y horizontales con la altura x que se quiere añadir al espaldón (determinada por ensayo y error hasta cumplir con un CSV de 1,1) :

X (m)	Rc+X (m)	Mw	Mw +x	Mv	Mh	CSV
1,8	9,68	1 671 300	1 782 742	264 103	1 077 462,285	1,45
1,8	9,68	1 671 300	1 791 742	264 103	1 507 525,816	1,10

Tabla 2. CSV del dique con aumento de la cota (fuente: elaboración propia)

Se concluye que se puede obtener un factor de seguridad aceptable con x igual a 1,8 m.

2.4- Alternativa 3 : Solución mixta

La tercera solución propone la colocación de cubípodos de manera a reducir el coeficiente de fricción y así solucionar el problema del tramo 2 (desplazamiento de los elementos del manto) junto con el aumento de la cota del espaldón (a niveles menores que la alternativa 2).

La colocación de una capa de cubípodos reduciría el coeficiente de fricción a 0,46 (actualmente 0,5 en el mejor de los casos) y aunque no parezca un cambio significativo, reduce sensiblemente el caudal de rebase el cual interviene en la fórmula del momento horizontal. Por otra parte ya se ha explicado en qué consistía la actuación del aumento de la cota de coronación del espaldón, que corresponde al aumento del francobordo R_c . La propuesta consiste en aumentar la altura de 1 metro en vez de 1,8 como propuesto en la alternativa 2. Se deja la tabla que resume los nuevos parámetros calculados con excel y un esquema:

	Tramo 2	Tramo 3
yf	0,46	0,46
x (m)	1	1
Rc+X (m)	8,88	8,88
Mw (N*m/m)	1 671 300	1 671 300
Mw + x	1 782 742	1 791 742
Mv	264 103	264 103
Mh	929 308,717	1 516 322,27
CSV	1,59	1,1

Tabla 3. Nueva tipología del tramo 2 del dique norte con retranqueo (fuente: elaboración propia)

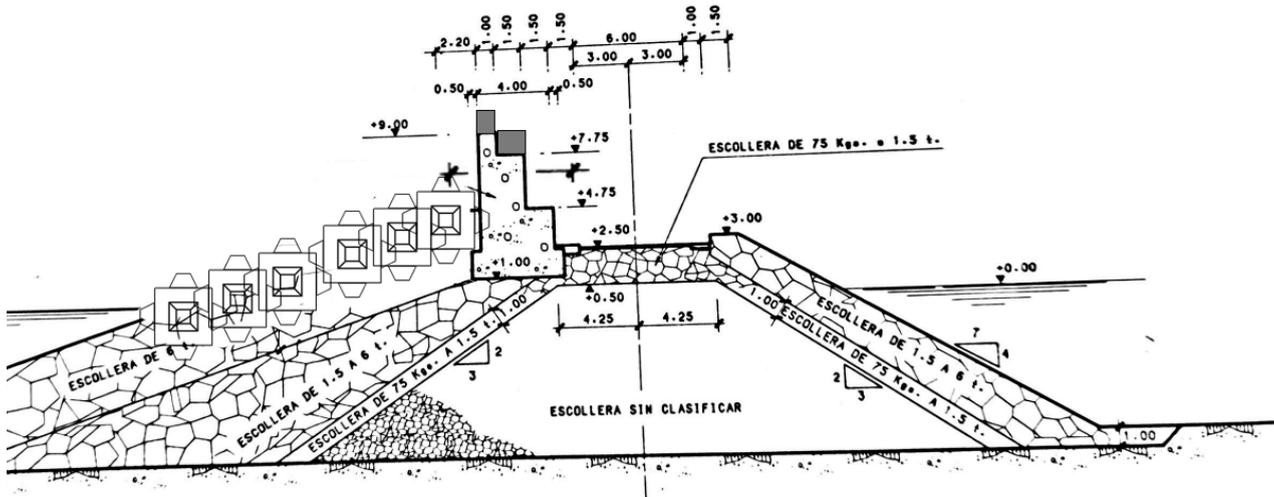


Imagen 2. Alternativa 3 (fuente: elaboración propia)

3- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Se procede a la evaluación de las alternativas según distintos criterios y se les asigna un coeficiente de ponderación en función de la importancia de cada uno *con el objetivo* de decidir cuál es la actuación más idónea para el Dique Norte del puerto de Gandía

3-1- Criterios de elección y ponderación

Los criterios de elección se elevan al número de 5. Se justifica la explicación de cada criterio y se detalla la forma de medirlo y su peso en el porcentaje total.

Criterio ambiental:

El primer criterio que se contempla es el ambiental. La razón por la cual se tiene que hacer una actuación en las infraestructuras del puerto es la subida del nivel del mar debido al cambio climático, por lo que es lógico tener en cuenta tanto las emisiones de C_{02} como la polución generada por cada alternativa de manera a impactar lo menos posible el medio ambiente.

Subcriterio y porcentaje:

El nivel de emisiones de gases a efecto invernadero de la actuación. Se propone un peso de 20% de la nota total(0 la más baja y 5 la más alta).

Criterio funcional:

El segundo criterio se refiere a la eficacia de la actuación para resolver los problemas planteados por la subida del nivel del mar. Una de las variables que se



intenta reducir es la del caudal de rebase, dado que interviene en la mayoría de las fórmulas relacionadas con estabilidad del espaldón.

Subcriterio y porcentaje:

Coeficiente de seguridad frente al vuelco y coeficiente de seguridad frente al deslizamiento. Son magnitudes fáciles de medir. Se propone un 20% de la nota total.

Criterio económico:

El tercer criterio se puede considerar como uno de los más decisivos. La solución con el coste de ejecución más reducido tiene altas probabilidades de ser escogida por motivos lógicos.

Subcriterio y porcentaje:

El coste total de la actuación, al ser un criterio de relevante importancia, se le otorga un peso de 30%.

Criterio Técnico:

El cuarto criterio se refiere a la dificultad técnica de la actuación. Es un criterio que va estrechamente relacionado con el criterio económico y con el medioambiental.

Subcriterio y porcentaje:

Plazo total así como la facilidad de acceso a los materiales, maquinaria y volumen de material empleado. Se propone un 20% de la nota total.

Criterio estético:

El quinto y último criterio es uno al cual se está dando cada vez más importancia a la vez que cambia nuestra perspectiva del impacto del hombre sobre su entorno. Es un criterio altamente subjetivo por lo que complica la tarea de medir cualitativamente el impacto de cada acción.

Subcriterio y porcentaje:

Cambio visual total después de la actuación y adaptación al entorno. Se propone un peso total del 10%

3.2- Matriz de análisis multicriterios

La primera alternativa debida a su dificultad de ejecución en el tramo 2 se descarta, sin embargo se incluye en la matriz de selección. A continuación se resumen las actuaciones para cada alternativa, las cuales justifican las notas atribuidas en cada sección de la matriz.

Retranqueo del espaldón (alternativa 1):

1. Colocación de balizamiento para señalización de las obras
2. Retirada de la escollera del manto de protección en el intradós del dique
3. Retirada de la escollera del núcleo en el intradós del dique
4. Demolición del espaldón
5. Hormigonado del espaldón con el retranqueo necesario
6. Colocación del núcleo en el intradós del dique
7. Colocación de la escollera en el intradós del dique
8. Retirada de balizamiento para señalización de las obras

Aumento de la cota del espaldón (alternativa 2):

1. Colocación de balizamiento para señalización de las obras
2. Replanteo
3. Reparación del espaldón actual
4. Tareas previas
5. Hormigonado del espaldón
6. Retirada de la señalización y balizamiento

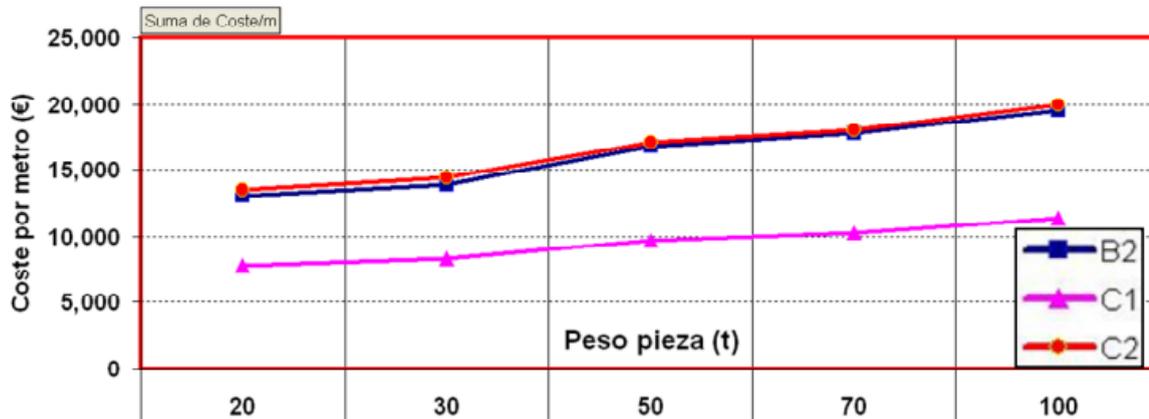
Aumento de la cota del espaldón y colocación de cubípodos (alternativa 3):

1. Colocación de balizamiento para señalización de las obras
2. Reparación del manto actual
3. Colocación del nuevo espaldón
4. Colocación de cubípodos
5. Retirada de la Señalización y balizamiento
6. Seguridad y salud

Respecto al criterio económico, la alternativa 3 es parecida a la 2, solo que tiene una actuación más que es la colocación de cubípodos en el manto superior. Se podría pensar que el hecho de tener que hormigonar menos (1m en vez de 1,8) reduciría lo suficiente los costes como para justificar la colocación de cubípodos, pero la verdad es que la alternativa 3 es netamente más costosa que la 2.

A continuación se deja una gráfica que nos permite estimar el precio del cubípedo monocapa (C1), estimado con la siguiente fórmulas:

$$C_c \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (265 + HOR) + 0.75 \times \left[10^5 \times \left(\frac{1}{\ln(V \times W)} \right)^2 - 10^4 \times \left(\frac{1}{\ln(V \times W)} \right) \right]$$



Gráfica 1. Precio de los cubípodos monocapa (C1) y bicapa(C2) (fuente: el cubípedo: nuevo elemento para la reducción de costes en la construcción de diques en talud)

La longitud total del tramo 2 y 3 del dique norte mide 410 m, utilizando la gráfica, con cubípodos monocapa de 20 toneladas, se obtiene:

$$410 * 8000 = 3\ 280\ 000\ €$$

Por lo que para la alternativa 3, la aproximación del coste es de 3 280 000€.

Para la alternativa 2, se calcula el precio con la siguiente ejecución de obra con el programa generador de precios creado por CYPE España [16] :

CHH020 m³ Hormigón en masa.

Hormigón HM-20/B/20/X0 fabricado en central y vertido desde camión, para formación de muro de contención H<3 m.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt10hmf010tLb	m³	Hormigón HM-20/B/20/X0, fabricado en central.	1,050	74,71	78,45
Subtotal materiales:					78,45
2		Mano de obra			
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,154	20,74	3,19
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,616	19,68	12,12
Subtotal mano de obra:					15,31
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	93,76	1,88
Coste de mantenimiento decenal: 2,87€ en los primeros 10 años.					
Costes directos (1+2+3):					95,64

El precio por m³ es de 95,64€. el volumen a rellenar es de $(1,8+1,25*1,5)*410 = 1506,75\ m^3$

El precio de la actuación 2 sería aproximadamente de $1506,75 * 95,64 = 144\ 105€$

En la siguiente tabla se resume el precio de las alternativas

	Precio aprox.(€)
Alternativa 2	144 105
Alternativa 3	3 280 000 +

Tabla 4. Precio de las alternativas (fuente: elaboración propia)

Es trivial apreciar que la alternativa 2 es menos costosa, por lo que se le otorga un 5 en el criterio económico.

Respecto al criterio funcional, comparando los CSV del tramo 2 (siendo 1,1 para cualquiera de las dos soluciones), se destaca que la alternativa 3 alcanza un CSV de 1,59 y la alternativa 2 un CSV de 1,45. Por lo que se otorga la mejor nota (5) a la alternativa 3 en este caso.

Respecto al criterio técnico, la colocación de cubípodos de la alternativa 3 requiere una grúa con pinzas cosa que no precisa la alternativa 2, por lo que se considera más fácil la actuación 2. Se otorga un (5) a la alternativa 2 por la sencillez de la solución constructiva.

Respecto al criterio estético, se otorga una nota de (4) a las dos alternativas.

En cuanto al criterio ambiental, la emisión de CO2 proviene mayoritariamente de la fabricación del hormigón. La alternativa 3 requiere más volumen de hormigón debido a los cubípodos de 20 toneladas, sin contar con la emisión de la maquinaria extra debido a la colocación y transporte de estas. Se otorga una nota de (4) a la alternativa 2 por no perturbar el ecosistema de las inmediaciones.

Se deja la matriz de análisis multicriterios con la nota de las tres alternativas. La máxima puntuación es obtenida por la solución constructiva número 2, a saber, la elevación de la cota de coronación con un porcentaje de idoneidad del 90%.

Criterios	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ambiental	20%	2	4	3
Funcional	20%	2	4	5
Económico	30%	2	5	3
Tecnico	20%	2	5	4
Estético	10%	5	4	4
Total	100%	46%	90%	74%

Tabla 5. Matriz de análisis multicriterios (fuente: elaboración propia)

3.3- Valoración económica

Precio unitario:

CHH020 m³ Hormigón en masa.

Hormigón HM-20/B/20/X0 fabricado en central y vertido desde camión, para formación de muro de contención H<3 m.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt10hmf010tLb	m ³	Hormigón HM-20/B/20/X0, fabricado en central.	1,050	74,71	78,45
			Subtotal materiales:		78,45
2		Mano de obra			
mo045	h	Oficial 1º estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,154	20,74	3,19
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,616	19,68	12,12
			Subtotal mano de obra:		15,31
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	93,76	1,88
Coste de mantenimiento decenal: 2,87€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		95,64

Cuadro de precios 1:

U001 m³ Espaldón del dique de hormigón HM-20/B/20/X0 incluso fabricación en central, transporte, encofrado, vertido, vibrado, desencofrado y curado

Son NOVENTA Y CINCO EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.....95,64€

Presupuesto general:

CAPITULO N·1		Recrecido del espaldón dique norte			
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio	Total
U001	m ³	Espaldón del dique de hormigón HM-20/B/20/X0 incluso fabricación en central, transporte, encofrado, vertido, vibrado, desencofrado y curado	1506,75 m3	96,64€	144 105,57€



PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA:

CAPÍTULO 1: RECRECIDO DEL ESPALDÓN.....	144.105,57 €
TOTAL.....144.105,57 €

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de CIENTO CUARENTA Y CUATRO MIL CIENTO CINCO EUROS CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS 144 105,57 €).

Considerando que se tiene un 13% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial, la valoración económica final con y sin I.V.A (21%) asciende a DOSCIENTOS SIETE MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL 144.105,57 €
13% GASTOS GENERALES 18.733,72 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL 8.646,33 €

VALORACIÓN ECONÓMICA FINAL SIN I.V.A. 171.485,62 €
21% DE I.V.A. 36.011,98 €

VALORACIÓN ECONÓMICA FINAL 207.497,18 €

Fecha: NOVIEMBRE 2022
Autor del estudio: PABLO VILLARET SANCHEZ
Fdo:



ANEJO SOBRE LOS OBJETIVOS DE

DESARROLLO SOSTENIBLE







ÍNDICE

1.- DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	125
2.- ODS Y DIQUE NORTE DEL PUERTO DE GANDÍA	127
2.1.- Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9)	127
2.2.- Acción por el clima (ODS 13)	127

1.- DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años [17].



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.

A continuación se presenta la siguiente tabla que relaciona este estudio del dique norte del puerto de Gandía con los ODS.

Objetivos de Desarrollo Sostenibles		Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1.	Fin de la pobreza.				X
ODS 2.	Hambre cero.				X
ODS 3.	Salud y bienestar.				X
ODS 4.	Educación de calidad.				X
ODS 5.	Igualdad de género.				X
ODS 6.	Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7.	Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8.	Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9.	Industria, innovación e infraestructuras.		X		
ODS 10.	Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11.	Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12.	Producción y consumo responsables.				X
ODS 13.	Acción por el clima.	X			
ODS 14.	Vida submarina.				X
ODS 15.	Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16.	Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17.	Alianzas para lograr objetivos.				X

Tabla 1. Relación del estudio sobre el dique norte de Gandía y los ODS (fuente propia)

2.- ODS Y DIQUE NORTE DEL PUERTO DE GANDÍA

Se procede a explicar los objetivos que mayoritariamente están relacionados con este estudio.

2.1.- *Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9)*

Las metas que están específicamente relacionadas con la elevación de la cota del espaldón son las siguientes:

9.1. Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano.

9.4. De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales.

Al proceder al aumento de la estabilidad del espaldón, se está velando por la seguridad de las personas. Cabe destacar que se ha escogido la solución con uno de los criterios que tomaba en cuenta el medioambiente y la sostenibilidad del proyecto.

2.2.- *Acción por el clima (ODS 13)*

Las metas que están específicamente relacionadas con la elevación de la cota del espaldón son las siguientes:

13.1. Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

13.2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

La propia existencia de este estudio es debido al cambio climático y su consecuencia más relevante (en el caso de las obras marítimas) que es la subida del nivel del mar. Como visto en los anteriores anejos, una subida del orden de entre 45 y 80 cm genera grandes problemáticas que se deben estudiar para reaccionar a tiempo. Se ha determinado que uno de los problemas serían las presiones que tendría que soportar el espaldón en periodo de gran temporal, y se han propuesto soluciones al respecto.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



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.

España

Escala 1:10 000 000

Gandía

Oliva

Dénia

Xàbia

E-15

Escala 1:1 000 000

Gandía

Escala 1:12 500

Estudio para la adaptación al cambio climático del puerto de Gandía

AUTOR
Pablo Villaret Sánchez

FIRMA

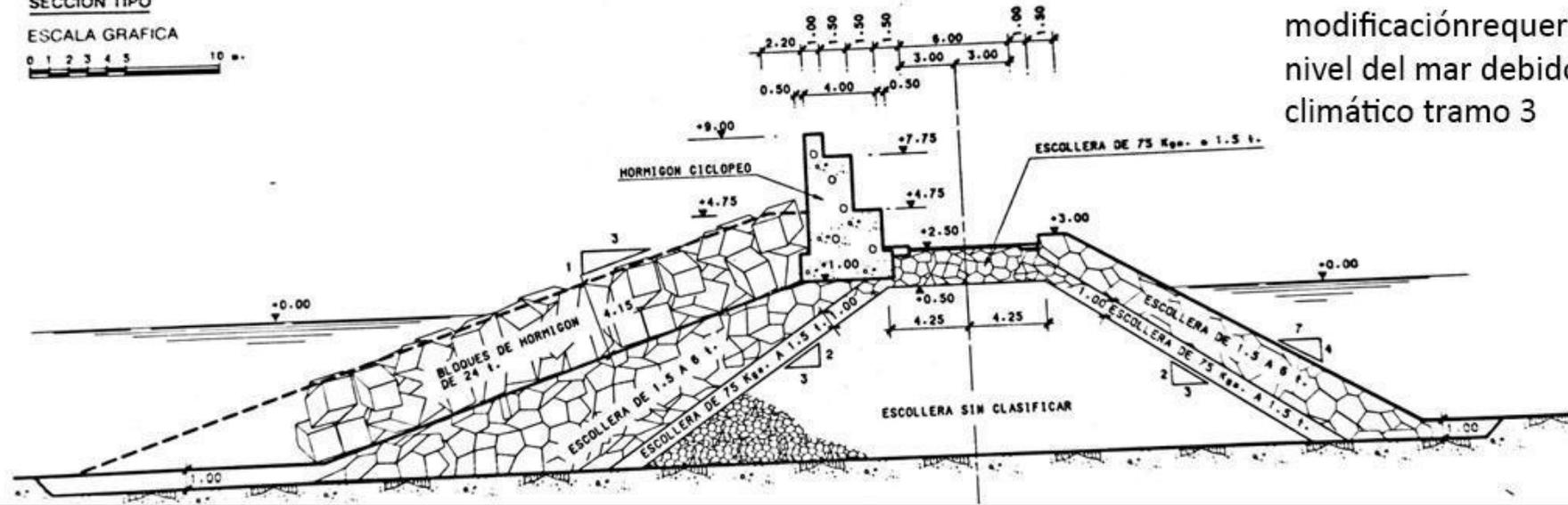
FECHA
Octubre 2022

TITULACIÓN
MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

PLANO EMPLAZAMIENTO		Nº DE PLANO 1
ESCALA VARIOS	UNIDADES METROS	Nº DE HOJA 1

SECCION TIPO

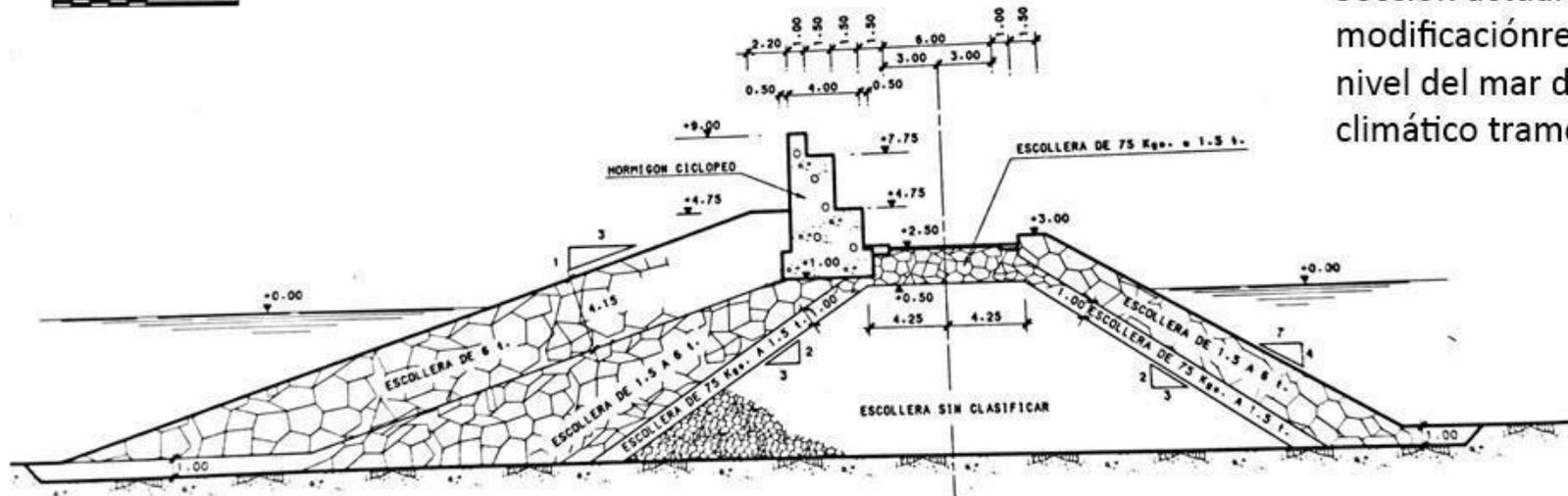
ESCALA GRAFICA



Sección actual antes de la modificación requerida por el nivel del mar debido al cambio climático tramo 3

SECCION TIPO

ESCALA GRAFICA



Sección actual antes de la modificación requerida por el nivel del mar debido al cambio climático tramo 2

ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE GANDÍA

AUTOR

PABLO VILLARET SÁNCHEZ

FIRMA

FECHA

OCTUBRE 2022

TITULACIÓN

MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

PLANO

SECCIÓN TRANSVERSAL TRAMO 2 Y 3

ESCALA

1:150

UNIDADES

METROS

Nº DE PLANO

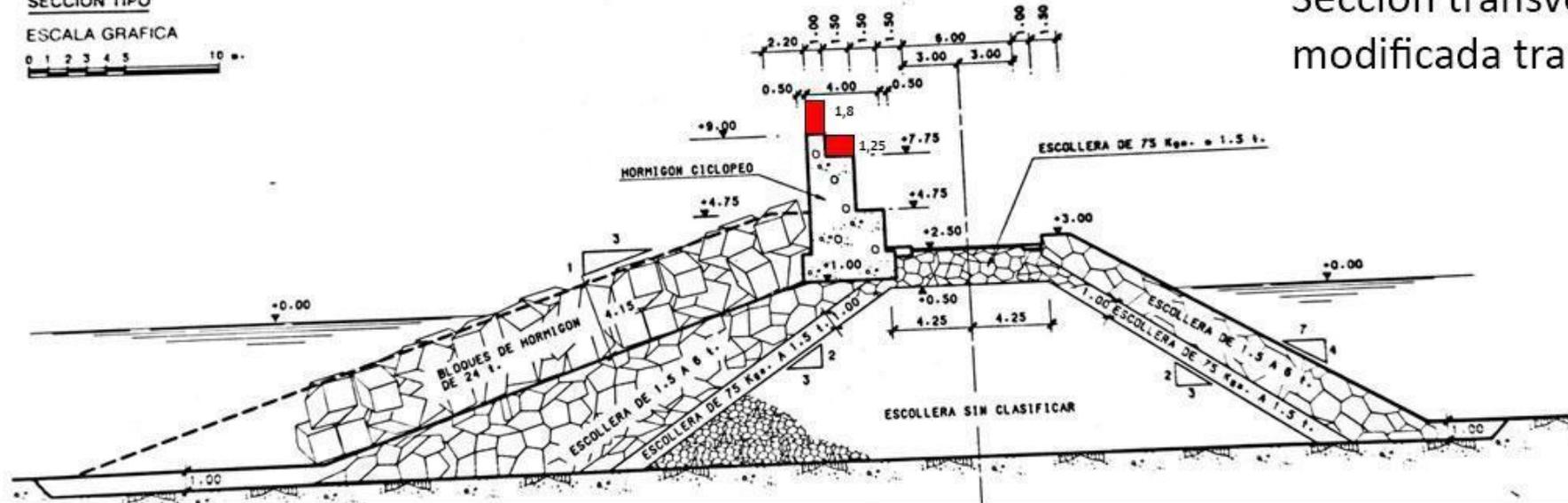
2

Nº DE HOJA

1

SECCION TIPO

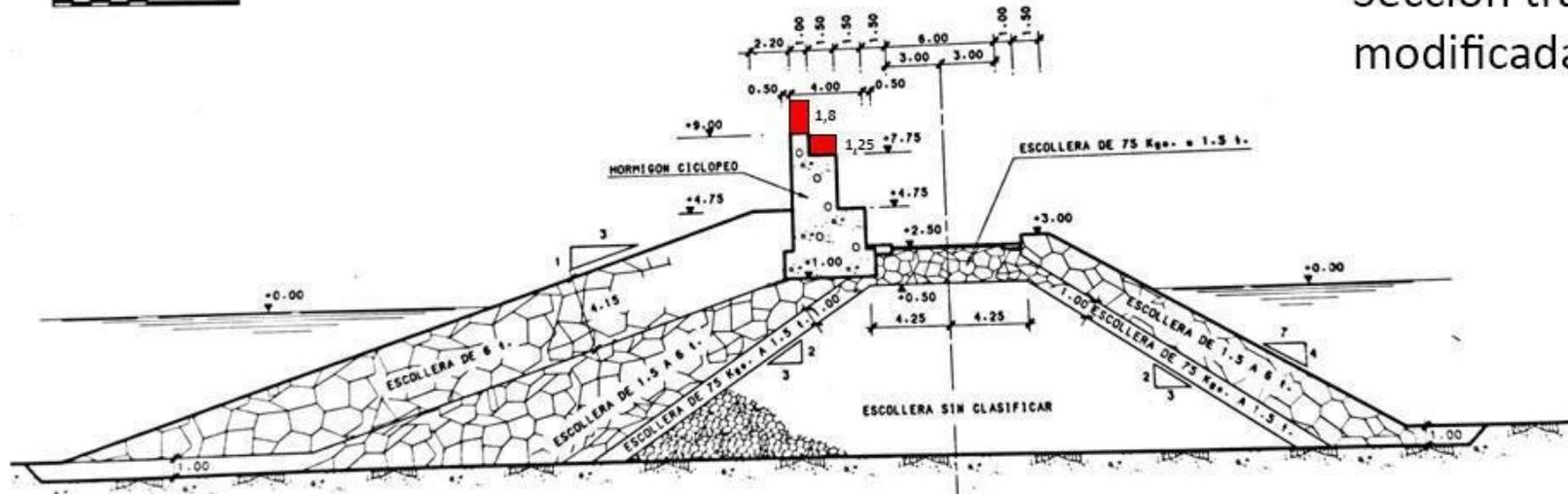
ESCALA GRAFICA



Sección transversal modificada tramo 3

SECCION TIPO

ESCALA GRAFICA



Sección transversal modificada tramo 2

ESTUDIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO DEL PUERTO DE GANDÍA

AUTOR

PABLO VILLARET SÁNCHEZ

FIRMA

FECHA

OCTUBRE 2022

TITULACIÓN

MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

PLANO

SECCIÓN TRANSVERSAL TRAMO 2 Y 3

ESCALA

1:150

UNIDADES

METROS

Nº DE PLANO

3

Nº DE HOJA

1