



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



# ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE VERACRUZ (MÉXICO): ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DIQUE DE PONIENTE

Memoria

Trabajo Final de Máster

**Titulación:** Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

**Curso:** 2015/16

**Autor:** Sánchez Navarro, Carlos Juan

**Tutor:** Medina Folgado, Josep Ramón

**Cotutor:** González Escrive, José Alberto

Valencia, junio de 2016

## **DEFINICIÓN DE TRABAJO**

Con referencia a la división de trabajo realizado en el desarrollo de este trabajo académico, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

Todo lo que respecta a la definición, cálculo y desarrollo referente al dique de Poniente ha sido llevado a cabo por el alumno Carlos Juan Sánchez Navarro. Es decir, de todos los documentos que conforman este trabajo, los siguientes:

- 3.1. Desarrollo de la alternativa elegida (Poniente)
- 4.1. Valoración de las obras (Poniente)
- 5. Planos
  - Plano nº 4: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T1
  - Plano nº 5: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T2
  - Plano nº 6: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T3
  - Plano nº 7: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T4
  - Plano nº 8: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T5
  - Plano nº 9: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T6

Todo lo que respecta a la definición, cálculo y desarrollo referente al dique de Oriente ha sido llevado a cabo por el alumno Antoni Germà Arnau Colomer. Es decir, de todos los documentos que conforman este trabajo, los siguientes:

- Desarrollo de la alternativa elegida (Oriente)
- Valoración de las obras (Oriente)
- Planos
  - Plano nº 10: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T1
  - Plano nº 11: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T2
  - Plano nº 12: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T3
  - Plano nº 13: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T4
  - Plano nº 14: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T5
  - Plano nº 15: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T6
  - Plano nº 16: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T7

Los realizados conjuntamente por los dos alumnos son los siguientes:

- 1. Memoria
- 2.1. Descripción del proyecto base
- 2.2. Estudios previos
- 2.3. Análisis del proyecto base
- 2.4. Planteamiento y elección de alternativas
- Planos:
  - Plano nº 1: Situación y Emplazamiento
  - Plano nº 2: Batimetría
  - Plano nº 3: Trazado en planta

A modo de resumen, en la siguiente tabla se recogen los documentos realizados junto con su autores:

AUTOR	DOCUMENTO
Ambos	1. Memoria
Ambos	2.1. Descripción del Proyecto Base
Ambos	2.2. Estudios Previos
Ambos	2.3. Análisis del Proyecto Base
Ambos	2.4. Planteamiento y elección de alternativas
Ambos	Plano nº1: Situación y Emplazamiento
Ambos	Plano nº2: Batimetría
Ambos	Plano nº3: Trazado en planta
Carlos J. Sánchez Navarro	3.1. Desarrollo de la alternativa elegida (Poniente)
Carlos J. Sánchez Navarro	4.1. Valoración económica de las obras (Poniente)
Carlos J. Sánchez Navarro	Plano nº4: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T1
Carlos J. Sánchez Navarro	Plano nº5: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T2
Carlos J. Sánchez Navarro	Plano nº6: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T3
Carlos J. Sánchez Navarro	Plano nº7: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T4
Carlos J. Sánchez Navarro	Plano nº8: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T5
Carlos J. Sánchez Navarro	Plano nº9: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T6
Antoni G. Arnau Colomer	3.2. Desarrollo de la alternativa elegida (Oriente)
Antoni G. Arnau Colomer	4.2. Valoración económica de las obras (Oriente)
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº10: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T1
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº11: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T2
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº12: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T3
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº13: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T4
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº14: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T5
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº15: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T6
Antoni G. Arnau Colomer	Plano nº16: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T7

ALUMNO	FIRMA
Antoni Germà Arnau Colomer	
Carlos Juan Sánchez Navarro	

Valencia, junio de 2016



## 1. Memoria

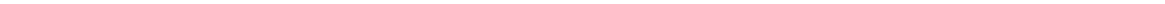
### *Estudio de soluciones para la ampliación del puerto de Veracruz (México)*

ALUMNO	FIRMA
Antoni Germà Arnau Colomer	
Carlos Juan Sánchez Navarro	



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---



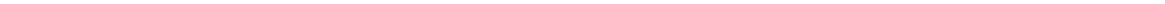
## ÍNDICE

1. Objeto y alcance .....	2
2. Antecedentes y Situación actual .....	3
3. Localización .....	4
4. Datos de partida .....	5
5. Estudios previos .....	5
5.1. Topografía .....	5
5.2. Batimetría .....	5
5.3. Geología y geotecnia .....	6
5.4. Hidrología superficial.....	8
5.5. Climatología .....	10
5.6. Clima marítimo y propagación del oleaje .....	10
5.7. Oleaje de diseño .....	13
6. Estudio de soluciones .....	14
6.1. Planteamiento y elección de alternativas .....	14
6.1.1. <i>Planteamiento de alternativas del trazado en planta</i> .....	14
6.1.2. <i>Planteamiento de alternativas de diseño de sección</i> .....	15
6.1.2.1. Dique de Poniente.....	16
6.1.2.2. Dique de Oriente .....	16
6.2. Desarrollo de la alternativa elegida .....	17
1.1.1. <i>6.2.1. Dique de poniente</i> .....	17
1.1.2. <i>6.2.2. Dique de oriente</i> .....	22
7. Valoración económica de las obras .....	27
8. Documentos de que consta el estudio .....	28
9. Legislación y normativa vigente utilizada en la redacción del estudio .....	29
10. Conclusiones .....	30



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---



## 1. Objeto y alcance

El presente estudio de soluciones desarrolla la definición y valoración de las obras a efectuar para llevar a cabo la ampliación del puerto de Veracruz (México).

Con la construcción de la citada ampliación se pretende abastecer las demandas de la región central del país en cuanto a términos de exportación e importación de mercancías por vía marítima se refiere. Esto atiende al objetivo de mantener la estabilidad macroeconómica del país, desarrollar sectores estratégico y sobre todo contar con una infraestructura de transporte que se vea reflejada en menos costes para realizar la actividad económica.

Todos estos objetivos vienen recogidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.

Además, la construcción y operación de la Ampliación del Puerto de Veracruz en la Zona Norte permitirá aprovechar las conexiones ferroviarias y carreteras existentes, vinculará al puerto con la Zona de Actividades Logísticas y la nueva Terminal de Carga Aérea, además de impulsar de forma directa el desarrollo de la zona industrial.

A todo esto se le suma una mejora significativa en cuanto a la relación Puerto-Ciudad, desviando e tráfico de carga comercial, que actualmente pasa por la ciudad, hacia zonas destinadas como áreas auxiliares al puerto

Adicionalmente, se pretende utilizar las instalaciones que conforman el actual puerto de Veracruz para fines recreativos y orientados hacia el turismo, una vez se hayan concluido las obras que darán lugar a la ampliación de dicho puerto.

Se recoge, en la presente memoria, de forma breve y concentrada la información más destacable que permite entender la estructura y los contenidos del estudio. Los puntos contenidos en el resto del estudio desarrollan en profundidad los puntos aquí tratados.

Este estudio de soluciones constituye el Trabajo Final de Máster de los autores, y se presenta con la finalidad de cumplir el requisito necesario para la obtención del título de Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

## 2. Antecedentes y Situación actual

El Puerto de Veracruz está considerado como el principal puerto comercial del país, sin embargo, actualmente enfrenta una grave situación limitada por falta de espacios para la ampliación de su infraestructura portuaria, de servicios y de desalojo de mercancía.

Desde la década pasada, el dinámico comercio mundial ha generado que los puertos sean puntos estratégicos comerciales, lo que para el caso del puerto de Veracruz representa un importante incremento de movimiento de carga de importación y exportación de la economía nacional e internacional.

Cabe destacar que 8 de las rutas comerciales que transitan por el Golfo de México tienen a Veracruz como único puerto de escala de tráfico marítimo.

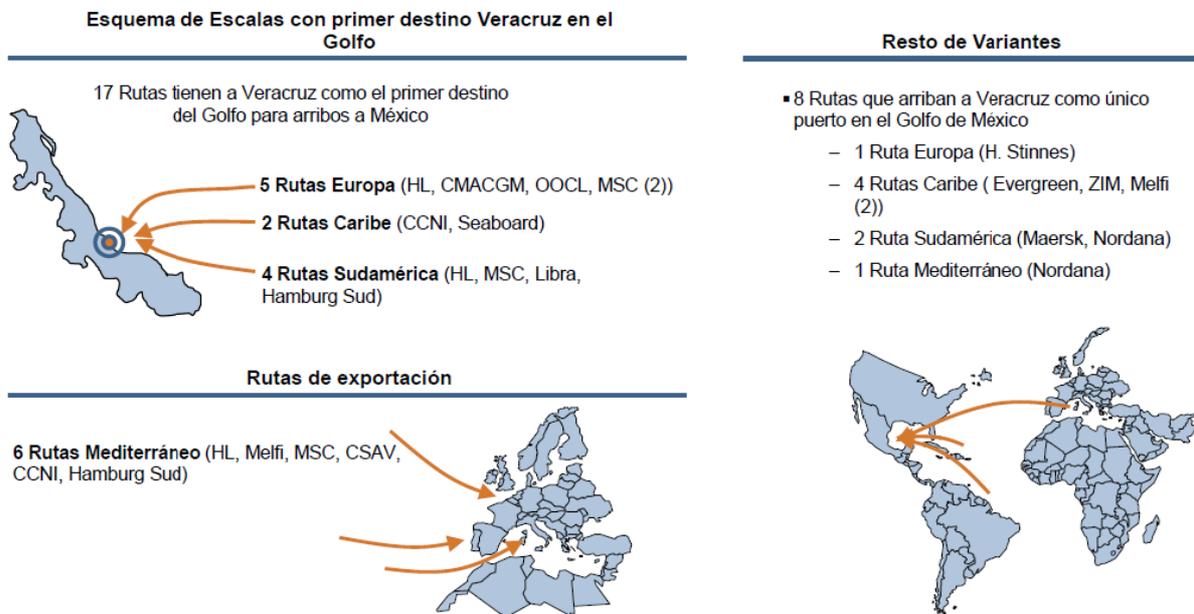


Figura 1. Escalas con primer destino Veracruz en el Golfo de México

A nivel nacional, Veracruz es uno de los principales puertos del país por donde se mueven las mercancías del comercio exterior con alto valor comercial sin incluir el manejo de petróleo.

### 3. Localización

La ampliación del puerto de Veracruz se encuentra ubicada en la zona norte del actual recinto portuario. Más concretamente se pretende situar en la Bahía de Vergara, la cual pertenece al municipio de Veracruz (México), ciudad más importante del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Cabe resaltar que las obras se desarrollarán íntegramente en el citado estado centroamericano.

Veracruz es un municipio y la ciudad más grande e importante del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tiene el puerto marítimo comercial más importante de México. Está ubicada a 90 km de distancia de la capital del estado Xalapa y a 400 km de distancia de la Ciudad de México.

Más concretamente, el puerto actual se encuentra ubicado en la zona centro del estado, en la región conocida como Sotavento, en las coordenadas  $19^{\circ} 12' 02''$  N, longitud  $096^{\circ} 08' 15''$  W. Limita al norte con el municipio de La Antigua y el Golfo de México; al sur con los municipios de Medellín y Boca del Río; al este con el Golfo de México y al oeste con los municipios de Manlio Fabio Altamirano y Paso de Ovejas.

En la siguiente imagen se puede ver representada la ubicación de dicha infraestructura:



Figura 2. Localización de Veracruz

#### 4. Datos de partida

Como datos de partida para empezar a desarrollar este estudio se tienen los documentos que conforman el proyecto base redactado con el fin de llevar a cabo las obras de ampliación del actual puerto de Veracruz (México).

Para el desarrollo de este estudio de soluciones, se tomarán los datos que sean necesarios de dicho proyecto base (concretamente de la Declaración de Impacto Ambiental y de los Planos).

Puesto que previo a la redacción de este estudio se ha realizado un estricto análisis de la documentación incluida en el proyecto, se han detectado diversas incongruencias e indefiniciones, así como datos erróneos (por ejemplo en cuanto al oleaje). Por este motivo, se ha redactado un documento denominado “*Análisis del proyecto base*” en el que se recogen dichos errores o carencias de información y se trata de explicar o describir la solución según proceda.

Por tanto, los datos empleados para llevar a cabo este estudio se han tomado del proyecto base, teniendo en cuenta las deficiencias comentadas, que en su caso se han corregido para así disponer de los datos más fidedignos posibles.

#### 5. Estudios previos

##### 5.1. Topografía

El área corresponde a la parte central del Golfo de México, dentro de la Planicie Costera del Golfo, que se caracteriza, en la región, por el desarrollo de planicies aluviales y de lodo, por la construcción de montículos eólicos a lo largo del cordón litoral y por la formación de lagunas marginales separadas del mar por una barra prelitoral. Particularmente, el sitio de estudio presenta una topografía prácticamente plana.

##### 5.2. Batimetría

Los datos referentes a la batimetría de la zona objeto de estudio se han obtenido de los planos del proyecto base. La batimetría de la zona, debido a que la zona de estudio se encuentra en una bahía, es cambiante y por tanto para empezar a realizar el diseño de los diques, no se podrá establecer un único sistema de referencia de dirección del oleaje. Cabe decir que las líneas batimétricas están referenciadas al nivel de bajamar media (N.B.M.)

A continuación se puede observar una imagen de la batimetría de la zona de estudio:

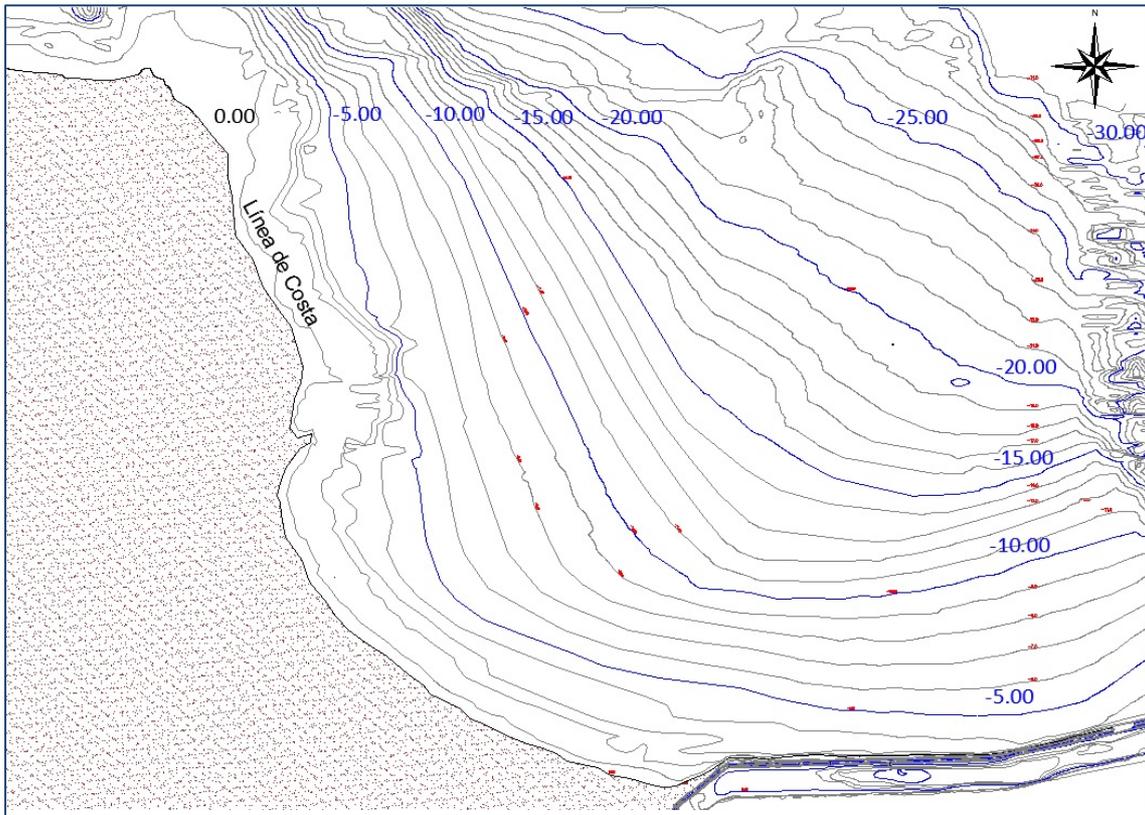


Figura 3. Batimetría del área de estudio

### 5.3. Geología y geotecnia

Conocer las características geológico-geotécnicas de la zona de análisis resulta importante teniendo en cuenta que, en este caso, se trata de un tramo costero de arenas limosas característico del litoral donde se ubica la zona de estudio.

En esta zona predominan los materiales sedimentarios marinos no consolidados tales como arcilla, arena y conglomerado. La edad de las rocas que conforman esta provincia aumenta a medida que existe más distancia de la costa. Las rocas plio-cuaternarias y terciarias afloran cercanas a la costa, en tanto que en las proximidades de la Sierra Madre Oriental afloran rocas de edad cretácica.

Desde el punto de vista geológico, el Puerto de Veracruz se ubica dentro de la Provincia Cuenca Deltáica de Veracruz, al norte se presenta el Macizo Ígneo de Palma Sola, al norponiente la Faja Volcánica Transmexicana, al poniente el Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas, misma que forma parte de la Sierra Madre Oriental, y al oriente el Macizo Volcánico de Los Tuxtlas.

Como ocurre con cualquier obra de abrigo, el diseño y dimensionamiento tanto de los muelles como de los diques del puerto presentarán unas exigencias constructivas que dependerán directamente del tipo de material y terreno sobre el que asientan.

Cabe comentar que en la zona donde se va a ubicar la ampliación del puerto no había sido, hasta el momento, objeto de estudios geotécnicos. Por este motivo, ha resultado necesario efectuar varios ensayos de carácter geológico-geotécnico. Para tal fin se realizaron diversos análisis y recogidas de muestras de naturaleza marítima y terrestre, llevados a cabo por la Administración Portuaria Integral del puerto de Veracruz (APIVER). Además se recurrió a la información disponible en la bibliografía existente para así poder lograr que los datos a tratar fueran lo más fiable posible. Con todo esto se desarrolló la documentación geológica-geotécnica necesaria, recogida en el proyecto base.

En este caso, la información requerida ha sido obtenida del proyecto base.

Para la zona del dique de poniente, los sondeos realizados muestran el siguiente perfil estratigráfico:

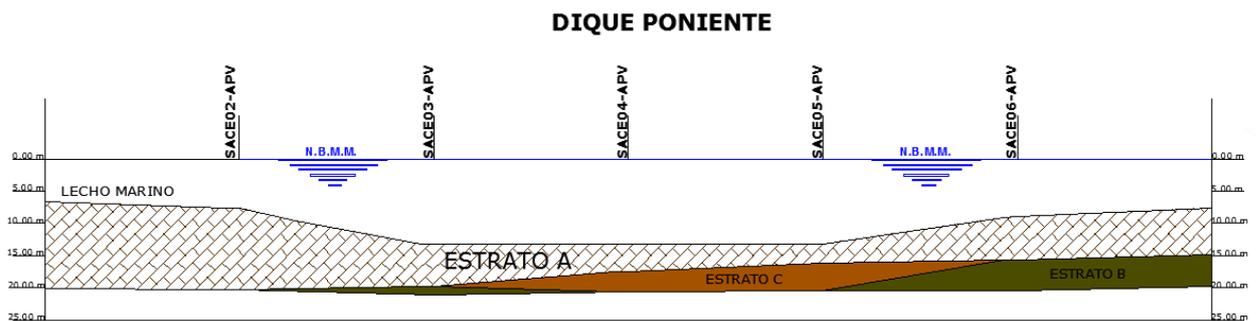


Figura 4. Perfil estratigráfico en la zona de poniente

En dicha zona se puede observar la presencia mayoritaria de arena limosa SM, de consistencia suelta a medianamente compacta, de grano fino a medio y con una tonalidad grisácea (ESTRATO A). Este estrato forma la parte superior del lecho marino, el cual descansa sobre otros dos estratos. Uno de ellos está formado por arcilla de baja plasticidad CL, de consistencia blanda a firme y de carácter arenoso (ESTRATO B); mientras que el estrato restante está compuesto por arena arcillosa SC, de consistencia muy suelta a suelta, de grano fino a medio y de color gris (ESTRATO C).

Mientras que para la zona del dique de oriente, los sondeos muestran el siguiente perfil estratigráfico:

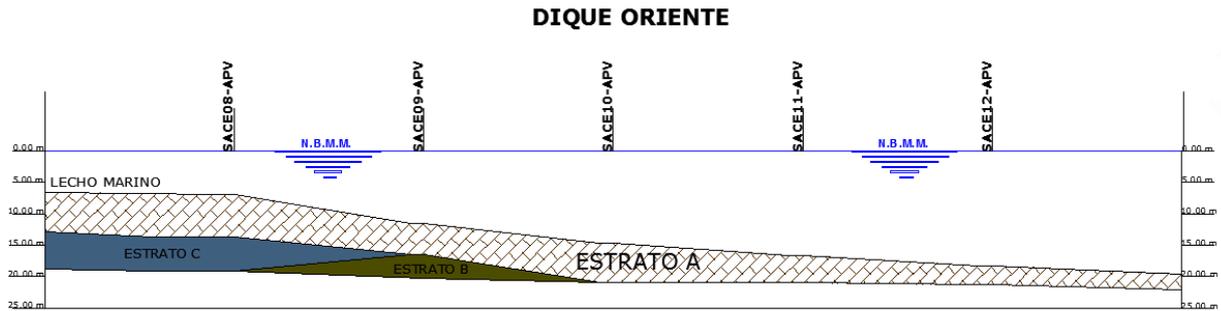


Figura 5. Perfil estratigráfico en la zona de oriente

Esta zona, similar a la anterior, se caracteriza por estar comprendida mayoritariamente de arena limosa SM, suelta, de grano fino a medio y de color grisáceo (ESTRATO A). Por la zona inferior a este afloran dos estratos más, uno formado por arcilla de baja plasticidad CL, firme y de carácter arenoso (ESTRATO B) y otro compuesto por fragmentos de coral, empacados en arena arcillosa, con una tonalidad grisácea oscura (ESTRATO C). Este último estrato sería a priori el más competente de los tres.

Una vez caracterizado el terreno, se puede observar como el terreno mayoritariamente predominante son las arenas limosas (SM), sueltas y de grano fino a medio. Las características geotécnicas de este tipo de terreno se recogen en la siguiente tabla:

Material	Compacidad	Densidad Relativa	N (SPT)	yseca (g/cm <sup>3</sup> )	Índice de huecos	Ángulo de rozamiento interno
SM: arenas limosas	Densa	75%	45	1,65	0,62	35°
	Media	50%	25	1,55	0,74	32°
	Suelta	25%	< 8	1,49	0,8	29°

Figura 6. Características geotécnicas del terreno

Estos datos serán comparados con los obtenidos en el cálculo geotécnico para ver si la carga de hundimiento está entre los límites aceptables, o por el contrario hay que realizar alguna actuación para hacer más competente el terreno. Puesto que esto se sale de los límites del presente trabajo, no se llevará a cabo dicha comprobación.

Por consiguiente, se va a suponer que el terreno presenta unas condiciones aceptables referidos a la carga de hundimiento y por tanto no se manifestará ningún tipo de problema que pueda poner en riesgo la estabilidad de las estructuras de abrigo.

#### 5.4. Hidrología superficial

La ampliación del puerto de Veracruz se va a instalar en una zona en la cual la región hidrológica abarca una parte muy importante de la porción que ocupa el centro-sur de

Veracruz. Las cuencas que conforman esta región hidrológica son la cuenca de Papaloapan y la de Jamapa.

En la siguiente imagen se puede ver la ubicación de Veracruz respecto de estas dos cuencas:

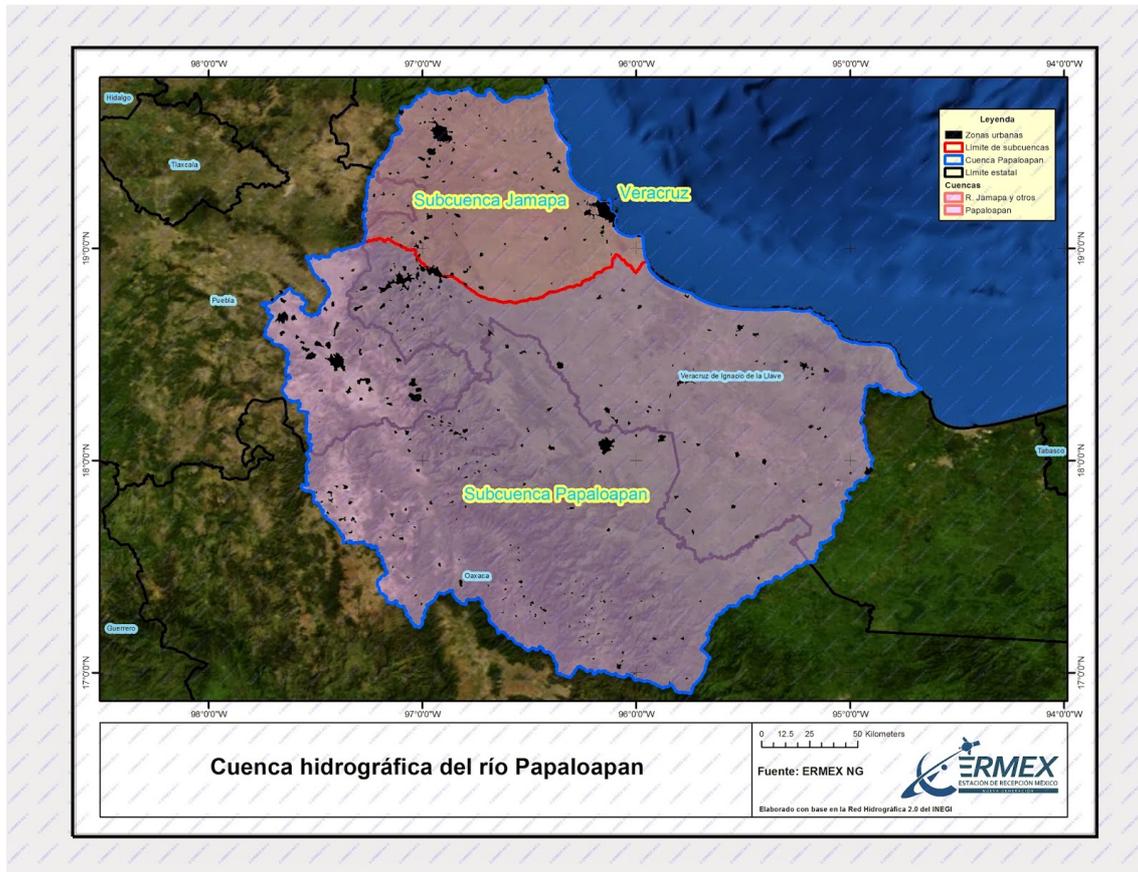


Figura 5. Región Hidrográfica de Veracruz (México)

La zona de interés en cuanto a las obras a realizar, presenta un volumen de lluvia de 17,672 millones de m<sup>3</sup> anuales y una escorrentía de 7,562 millones de m<sup>3</sup>.

Dentro de esta cuenca el principal río existente es La Antigua, ya que abastece a numerosas unidades de riego, presentando un volumen de extracción superficial de agua para riego mayor que los demás ríos.

Cabe destacar que los problemas que pudieran ser causados por la escorrentía superficial, la cual interviene en la dinámica litoral de la bahía de Vergara, no tendrán influencia por estar dicha zona fuera de la cuenca hidrográfica. Sin embargo, el río La Antigua aporta parte de material acarreado por el transporte litoral, lo cual puede afectar a la calidad del agua en la bahía. Por tanto, en situaciones en que puedan producirse avenidas se puede producir un aumento de la turbidez del agua causada por el aporte de sólidos inducido por el

río. Por este motivo, tanto para el diseño como para la construcción de las obras objeto de estudio se tendrá en cuenta dicho efecto.

### 5.5. Climatología

Por lo que respecta a la climatología característica de la zona, el clima es tropical cálido, con una temperatura media anual de aproximadamente 25 °C y precipitación media anual de alrededor de 1500 mm.

Existen períodos mensuales en los cuales aumentan las rachas de viento provenientes del norte y que alcanzan velocidades de hasta 130 km/h. Ocasionalmente se producen variaciones en la temperatura, aunque generalmente se mantiene constante.

En el apartado 6. *Climatología* del documento “2. Estudios Previos” se puede ver especificado de una manera más precisa la relación de parámetros climáticos habituales para los diferentes meses del año en Veracruz.

Debido a la ubicación del área de estudio (Golfo de México), cabe destacar la importancia que pueden llegar a tener sobre el oleaje los huracanes que puedan producirse, ya que este golfo presenta una marcada tendencia histórica en materializarse fenómenos de este tipo.

En este estudio se hace referencia a 2 huracanes que afectaron a la zona de estudio, como son los huracanes: Dean (2007) y Karl (2010).

### 5.6. Clima marítimo y propagación del oleaje

Los parámetros básicos para obtener el oleaje de diseño, el cual determinará el diseño final de las obras de abrigo son la altura de ola significativa y su período pico asociado.

Para obtenerlos se ha recurrido a la información proporcionada por el visor C3A desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, en el cual se precisan los datos de oleaje registrados en la costa del golfo de México, es decir, la costa objeto de estudio.

A partir de dicha herramienta se obtiene el valor de la altura de ola significativa para el régimen extremal con un período de retorno dado, que para el caso de diseño de obras de abrigo se suele asociar un período de retorno de 500 años.

Por tanto, la información que ofrece el visor es:

**Régimen Extremal ( $T_r = 500$  años) ;  $H_s = 13,51$  m**

El visor también proporciona información sobre datos de oleaje máximo histórico asociado a huracanes, que para este caso toma el valor de:

**Huracanes:  $H_s = 7,89$  m**

Conociendo estos dos valores de oleaje, se descartará el segundo de ellos por desconocer el período de retorno al cual está asociado, además de ser significativamente menor. Por estos motivos no resulta ser un valor que represente de forma significativa el oleaje de la zona, por tanto se tomarán como datos:

Hs (m)	Tr (años)
13,51	500
11,89	100
11,14	50

Además será necesario conocer la altura de ola asociada a un período de retorno de 1 año para el cálculo del rebase, la cual se determina según una estimación de los datos de la tabla expresados en escala logarítmica. Este valor resulta ser:

**$H_s (T_r = 1 \text{ año}) = 7,15$  m**

Una vez establecidos estos valores, se pasa a determinar los períodos pico asociados a las alturas de ola. Para ello se ha recurrido a la página web del *National Data Bouy Center* la cual ofrece información acerca de las alturas de ola y sus períodos pico en las diferentes boyas del mar caribe. Por tanto, los períodos pico resultantes asociados a cada altura de ola son:

Tr (años)	Hs (m)	Ts (s)
500	13,51	18,46
100	11,89	17,44
50	11,14	16,94
1	7,15	13,91

La **carrera de marea** se ha determinado según el visor C3A anteriormente comentado, el cual sitúa este valor en **1,97 m**.

Asumiendo que los datos de oleaje que se están manejando provienen de aguas profundas, es necesario realizar la propagación. Dicha propagación se realiza mediante la herramienta informática "*Wave Calculator*". Para llevarlo a cabo es necesario definir una serie de parámetros: Altura de ola, Período pico, Ángulo que forma el oleaje con la línea de costa y profundidad.

Para detectar el ángulo que forma el oleaje con la línea de costa es necesario definir un sistema de referencia, que en este caso se adopta:

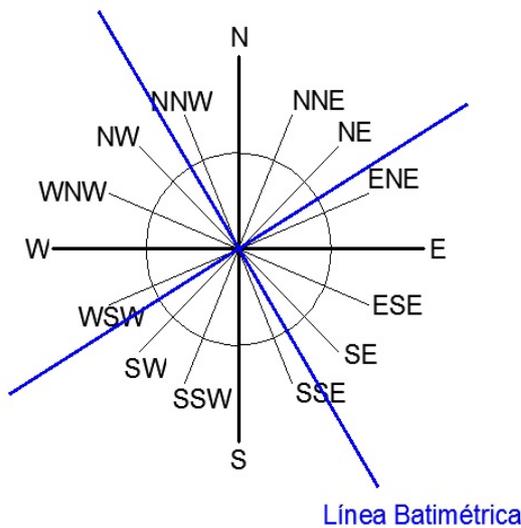


Figura 7. Sistema de referencia dique Poniente

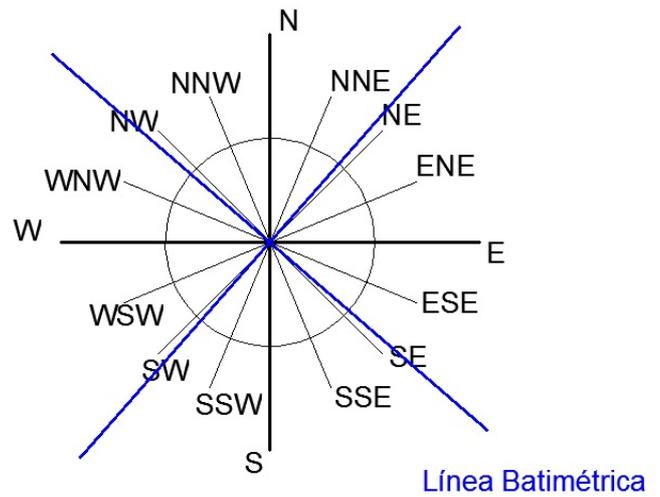


Figura 8. Sistema de referencia dique de Oriente

Para el dique de poniente solo se obtendrá la propagación para el tramo del dique longitudinal por ser este el más representativo (tramo principal). Sin embargo, para el dique de oriente se adoptarán dos tramos diferentes para la propagación (tramo principal 1 y tramo principal 2).

Los datos que proporciona el "Wave Calculator" para el dique de Poniente son (tramo principal → Profundidad = 13 m N.B.M.):

Tr (años)	Hs (m)	Ts (s)	$\alpha$ (°)
500	15,4	18,46	0
100	13,25	17,44	0
50	12,27	16,94	0
1	7,32	13,91	0

Para el dique de Oriente (tramo principal 1 → Profundidad = 17 m N.B.M.):

Tr (años)	Hs (m)	Ts (s)	$\alpha$ (°)
500	14,69	18,46	0
100	12,65	17,44	0
50	11,73	16,94	0
1	7,05	13,91	0

Para el dique de Oriente (tramo principal 2 → Profundidad = 14 m N.B.M.):

Tr (años)	Hs (m)	Ts (s)	$\alpha$ (°)
500	15,20	18,46	0
100	13,08	17,44	0
50	12,11	16,94	0
1	7,24	13,91	0

### 5.7. Oleaje de diseño

Para tener una completa caracterización del oleaje, además de todo lo determinado en el apartado anterior, se deberá comprobar si cada uno de los oleajes obtenidos es rompiente (Breaking Conditions) o no (Non Breaking Conditions), ya que su comportamiento se trata de forma distinta.

De esta forma, actuando como indica la gráfica “after Weggel (1972)” recogida en el “Shore Protection Manual (SPM)”, se establece:

- Oleaje del Tramo Principal (Dique de Poniente) →  $H_d = 12,72$  m (Breaking)
- Oleaje del Tramo Principal 1 (Dique de Oriente) →  $H_d = 14,69$  m (Non Breaking)
- Oleaje del Tramo Principal 2 (Dique de Oriente) →  $H_d = 13,89$  m (Breaking)

Estos oleajes vienen dados para un período de retorno de 500 años. A modo de resumen se adjunta una tabla con el resto de oleajes asociados a los diferentes períodos de retorno comentados anteriormente.

<u>Poniente</u>	$H_d$ (m)	<u>Oriente</u>	$H_d$ (m)	
	T.P.		T.P. 1	T.P. 2
$T_R = 500$ años	12,72 [B]	$T_R = 500$ años	14,69 [NB]	13,89 [B]
$T_R = 100$ años	12,72 [B]	$T_R = 100$ años	12,65 [NB]	13,08 [NB]
$T_R = 50$ años	12,27 [NB]	$T_R = 50$ años	11,73 [NB]	12,11 [NB]
$T_R = 1$ años	7,32 [NB]	$T_R = 1$ años	7,05 [NB]	7,24 [NB]

## 6. Estudio de soluciones

### 6.1. Planteamiento y elección de alternativas

El estudio se basa en el análisis las diferentes alternativas posibles y viables para tratar de mejorar tanto técnica como económicamente la solución al problema de la manera más óptima, teniendo en cuenta siempre el cumplimiento de los objetivos prefijados. Para abordar este estudio se proponen dos grupos generales de alternativas:

- Planteamiento de alternativas del trazado en planta
- Planteamiento de alternativas de diseño de sección

Con el fin de elegir la alternativa más óptima se va a realizar un análisis multivariante, en el cual se valoran las alternativas desde diferentes perspectivas.

#### 6.1.1. Planteamiento de alternativas del trazado en planta

Como situación de partida se adopta la solución que presenta el proyecto base, la cual se ha comentado en los puntos anteriores. A continuación se muestra el croquis de la situación de la solución del trazado propuesta en el proyecto base:

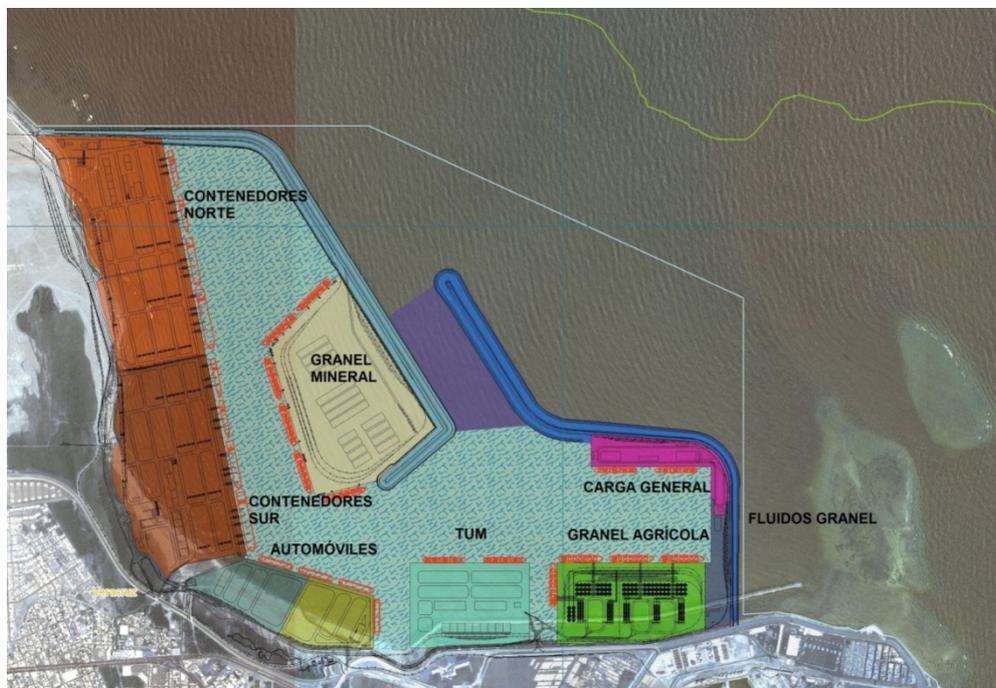


Figura 9. Trazado propuesto en el Proyecto Base

Las alternativas que se proponen a esta solución son:

- **Alternativa 0:** Se trata de realizar la solución que propone el proyecto base, es decir, ejecutar las obras en 2 fases, construyendo primero el dique de poniente y posteriormente el de oriente.
- **Alternativa 1:** Siguiendo el mismo trazado que la alternativa 0, se pretende ejecutar las obras en 1 fase, llevando a cabo simultáneamente la construcción de los 2 diques.
- **Alternativa 2:** Se basa en proponer un trazado alternativo al propuesto en la alternativa 0. Esta alternativa pretende definir el trazado de la forma más sencilla posible, facilitando así su construcción.

Cada una de estas alternativas presenta una serie de ventajas e inconvenientes, los cuales se desarrollan en el correspondiente documento.

Los criterios de evaluación que se adoptan son los siguientes:

- Criterios límite: Este criterio se define con la finalidad de que la comparativa que se haga sea admisible, es decir, tenga una coherencia sensata.
- Criterios deseables: Estos criterios se agrupan a su vez en 4 tipos;
  - Criterios Medio-Ambientales (se ponderarán con respecto al **20%** del total)
  - Criterios Económicos de inversión (se ponderarán con respecto al **25%** del total)
  - Criterios Económicos de coste de ejecución (se ponderarán con respecto al **35%** del total)
  - Criterios constructivos (se ponderarán con respecto al **20%** del total)

Las puntuaciones que se asignarán en desarrollo del análisis multicriterio irán de 1 a 5, correspondiéndose 1 con “muy malo” y 5 con “muy bueno”.

Después de realizar el análisis multicriterio con tal de elegir la **alternativa más adecuada** para llevar a cabo la construcción de las obras, se puede concluir que dicha alternativa es la **“Alternativa 1”**, la cual recibe una puntuación menor.

### **6.1.2. Planteamiento de alternativas de diseño de sección**

En este caso, los criterios de partida se adoptan no coinciden con los anteriores, es decir, ahora se parte de la alternativa elegida, que se basa en ejecutar las obras en una misma fase con el mismo trazado propuesto por el proyecto base.

Además, en cuanto a las secciones, la evaluación de las alternativas se realizará considerando como partida las propuesta por el proyecto base, las cuales difieren según el dique.

#### 6.1.2.1. Dique de Poniente

Las diferentes alternativas que se plantean son las siguientes:

- Alternativa 0: Empleo de piezas Core-Loc en el manto principal y morro, según la altura de ola de 8,07 m.
- Alternativa 1: Empleo de piezas Core-Loc en el manto principal y morro, según la altura de ola de 12,72 m.
- Alternativa 2: Empleo de Cubípodos bicapa en el manto principal y morro, según la altura de ola de 12,72 m.
- Alternativa 3: Empleo de Cubos bicapa en el manto principal y morro, según la altura de ola de 12,72 m.

#### 6.1.2.2. Dique de Oriente

Las diferentes alternativas que se plantean son las siguientes:

- Alternativa 0: Empleo de piezas Core-Loc en el manto principal y morro, según la altura de ola de 8,12 m (Tramo principal 1) y 7,69m (Tramo principal 2).
- Alternativa 1: Empleo de piezas Core-Loc en el manto principal y morro, según la altura de ola de 14,69 m (Tramo principal 1) y 13,89 m (Tramo principal 2).
- Alternativa 2: Empleo de Cubípodos bicapa en el manto principal y morro, según la altura de ola de 14,69 m (Tramo principal 1) y 13,89 m (Tramo principal 2).
- Alternativa 3: Empleo de Cubos bicapa en el manto principal y morro, según la altura de ola de 14,69 m (Tramo principal 1) y 13,89 m (Tramo principal 2).

En este caso, dada la dificultad para poder aplicar un análisis multicriterio, se decanta por definir una serie de criterios límite los cuales van a permitir ir eliminando alternativas hasta dejar la más óptima. Por tanto a continuación se van a definir dichos criterios:

- Criterios límite:
  - El oleaje de diseño ha de ser mayor o igual que el determinado en el documento “**2.2. Estudios Previos**”.
  - La pieza del manto principal no puede sobrepasar un determinado valor de peso, en el tronco y morro simultáneamente, por motivos de fragilidad y/o colocación en obra. Este valor vendrá determinado en función del tipo de pieza, así, para las piezas utilizadas en las distintas alternativas se tiene: El máximo peso para los **Core-Loc** es de **50 Tn** y para los **cubípodos** y **cubos** es de **200 Tn**.
  - Debido al diseño del trazado en planta establecido, que consiste en realizar toda la obra en una misma fase, se requiere por facilidad constructiva que las piezas del manto principal de ambos diques sean, en la medida de lo posible, de la misma tipología.

Una vez comparadas y valoradas las diferentes alternativas según los criterios límite expuestos, se puede concluir que la única alternativa que cumple todos los criterios límite es la *Alternativa 2*.

**Por lo tanto la “Alternativa 2” será la elegida para llevar a cabo las obras definidas en el proyecto en cuanto al diseño del dique.**

## **6.2. Desarrollo de la alternativa elegida**

Una vez analizada y seleccionada la mejor alternativa a adoptar, se procede a su desarrollo detallado, diferenciando el dique de poniente del dique de oriente.

### **1.1.1. 6.2.1. Dique de poniente**

Previamente a la realización del diseño en sí, es necesario conocer el oleaje de diseño, el cual se obtiene en el documento “2.2. Estudios previos”. Cabe destacar que dicho oleaje se obtiene propagando desde aguas profundas de forma que se produzca la altura de ola mayor, quedando así del lado de la seguridad.

Además, cabe destacar que con tal de diseñar de manera adecuada el dique, se realiza una división de este en diferentes tramos con la finalidad de obtener un diseño óptimo. El diseño de las secciones se realizará para cada uno de los tramos que dividen el dique.

A continuación se puede ver representada gráficamente dicha división:

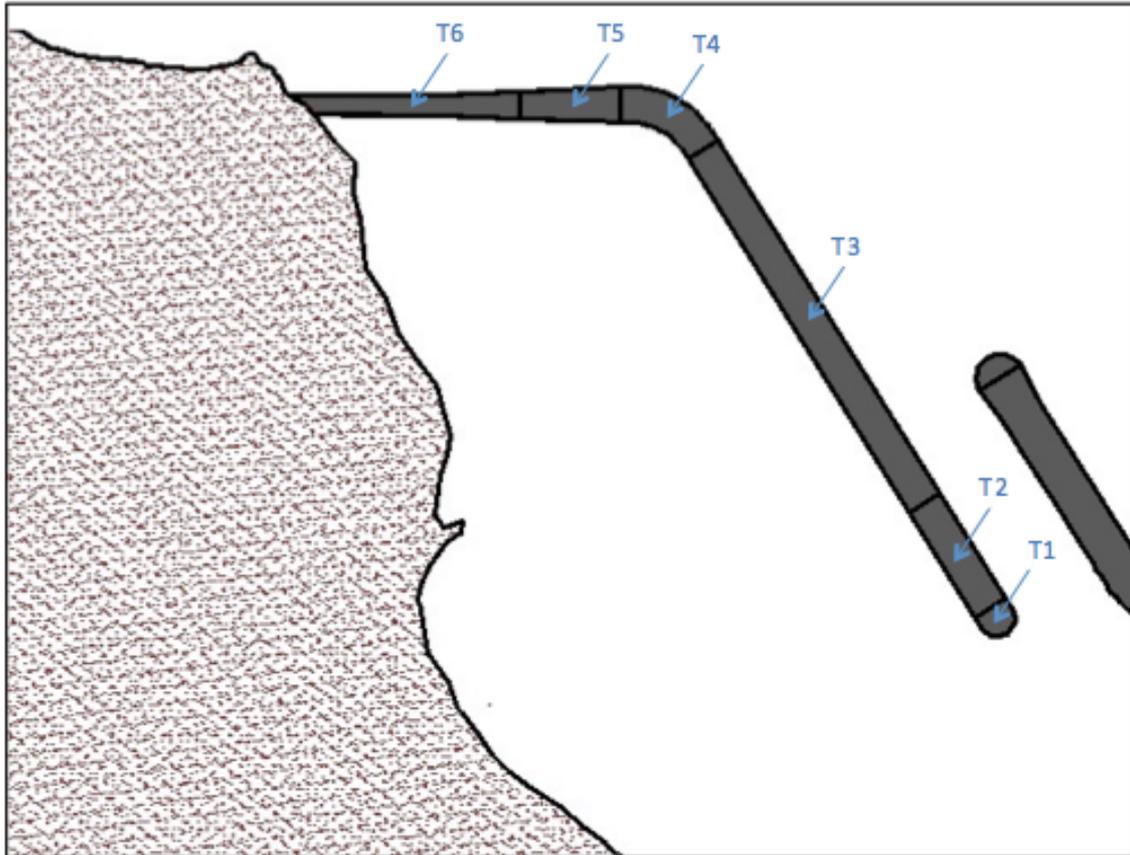


Figura 10. División en tramos del dique de Poniente

La longitud de cada uno de los tramos es:

Tramo	Longitud (m)
1	119
2	492
3	1660
4	388
5	400
6	844

Dada la distribución en planta que se tiene, existe una zona en este dique que puede ser afectada por la difracción del oleaje, lo cual puede producir una reducción considerable de la sección de dique necesaria en dicha zona. Para tener en cuenta este fenómeno se han utilizado los ábacos de Wiegel.

Una vez realizado esto, ya se está en disposición de asignar el oleaje de diseño a cada uno de los tramos definidos. Las alturas de ola correspondientes al oleaje de diseño pueden estar referenciadas a pleamar o a bajamar, siendo estas:

- Oleaje de diseño para cada tramo (pleamar):

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
H <sub>d</sub> (m)	2,94	5,88	12,72	12,72	11,28	7,89

- Oleaje de diseño para cada tramo (bajamar):

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
H <sub>d</sub> (m)	2,89	5,78	11,05	11,05	9,57	6,16

Los materiales utilizados para la construcción de los diques tendrán diferentes características. En la siguiente tabla se pueden apreciar las características de los principales materiales:

	Densidad (Tn/m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Peso mínimo (kg)	Peso máximo (Tn)
Hormigón Espaldón	2,3	0	-	-
Hormigón Cubípodos	2,3	40	-	200
Hormigón Cubos	2,3	40	-	200
Escollera	2,7	38	-	6
Todo Uno	2,7	3,5	1	-

Una vez recopilados todos estos datos, ya se está en disposición de abordar el cálculo del dique, considerando la estabilidad hidráulica del manto principal (con lo cual se determina tanto el peso de las piezas como el diámetro de cada una de ellas), la estabilidad hidráulica de la berma (con lo cual se determina la pendiente de los taludes de la berma) y el rebase (con lo cual se determina el caudal de rebase y la cota de coronación de la estructura).

Para determinar este último, es necesario conocer el oleaje para cada tramo para un período de retorno de 1 año. En la siguiente tabla se recogen los valores del oleaje tanto para  $T = 500$  años como para  $T = 1$  año:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
$H_{d,T=500 \text{ años}} \text{ (m)}$	2,94	5,88	12,72	12,72	11,28	7,89
$H_{d,T=1 \text{ años}} \text{ (m)}$	1,41	2,82	7,32	7,32	7,32	7,32

Con dichos datos se pueden calcular los caudales de rebase asociados a cada tramo y la cota de coronación para cada uno de ellos.

Además, se deben de diseñar debidamente las capas que servirán de filtro al dique, las cuales se definirán en función del peso de las piezas del manto principal. Para la primera capa de filtro se escogerá un ratio de 1/10, para la segunda de 1/200 y para el núcleo estará entre 1/200 y 1/4000.

Cabe comentar que el tamaño mínimo de escollera a disponer en el núcleo será de 1 Kg y el máximo de 6 Tn. El espesor mínimo de las capas de filtro será de 1 m.

Finalmente se presentan a modo de resumen las tablas correspondientes a los valores obtenidos de cada uno de los aspectos citados.

- Dimensiones y pesos de las capas:

Tramo	Capa	W	e (m)	nº capas	Material	$\rho$ (Tn/m <sup>3</sup> )
<b>Tramo 1 (Morro)</b>	Manto <sub>Mar</sub>	5 Tn	2,59	2	Cubo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	500 kg	1,14	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	13 - 38 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	5 - 20 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Puerto</sub>	2 Tn	1,81	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Puerto</sub>	13 - 38 kg	1,00	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 2</b>	Manto <sub>Mar</sub>	27 Tn	4,55	2	Cubo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	3 Tn	2,07	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	75 - 225 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	10 - 100 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Puerto</sub>	2 Tn	1,81	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Puerto</sub>	75 - 225 kg	1,00	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 3</b>	Manto <sub>Mar</sub>	60 Tn	5,93	2	Cubípodo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	6 Tn	2,61	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	150 - 350 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	20 - 200 kg	-	--	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Puerto</sub>	2 Tn	1,81	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Puerto</sub>	150 - 350 kg	1,00	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 4 (Tramo Curvo)</b>	Manto <sub>Mar</sub>	122 Tn	7,12	2	Cubípodo 2 ( $\uparrow\rho$ )	2,7
	Filtro I <sub>Mar</sub>	13 Tn	3,56	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	400 - 1000 kg	1,28	2	Escollera	2,7
	Núcleo	50 - 500 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Mar</sub>	2 Tn	1,81	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	400 - 1000 kg	1,28	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 5</b>	Manto <sub>Mar</sub>	41 Tn	5,22	2	Cubípodo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	5 Tn	2,46	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	150 - 350 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	15 - 200 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Puerto</sub>	2 Tn	1,81	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Puerto</sub>	150 - 350 kg	1,00	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 6</b>	Manto <sub>Mar</sub>	33 Tn	2,43	1	Cubípodo 1	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	4 Tn	2,28	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	100 - 300 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	10 - 150 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Puerto</sub>	2 Tn	1,81	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Puerto</sub>	100 - 300 kg	1,00	2	Escollera	2,7

- Características de la berma:

Tramo	Tipo	W (Tn)	h (m)	$h_t$ (m)	$h_t/h$	B (m)	hb (m)
<b>1 (Morro)</b>	Escollera	0,20	13,00	10,74	0,83	1,68	1,26
<b>2</b>	Escollera	1	13,00	9,85	0,76	2,87	2,15
<b>3</b>	Escollera	4	13,00	8,58	0,66	4,56	3,42
<b>4 (Tramo Curvo)</b>	Escollera	4	13,00	8,58	0,66	4,56	3,42
<b>5</b>	Escollera	3	11,00	6,89	0,63	4,14	3,11
<b>6</b>	Escollera	0,7	7,00	4,09	0,58	2,55	1,91

- Comprobación de rebase:

Tramo	Rc (N.B.M.) (m)
<b>1 (Morro)</b>	6,38
<b>2</b>	10,79
<b>3</b>	21,06
<b>4 (Tramo Curvo)</b>	21,06
<b>5</b>	18,89
<b>6</b>	13,81

### 1.1.2. 6.2.2. Dique de oriente

La manera de proceder es exactamente igual a la seguida en el desarrollo del cálculo del dique de poniente.

Previamente a la realización del diseño en sí, es necesario conocer el oleaje de diseño, el cual se obtiene en el documento "2.2. Estudios previos". Cabe destacar que dicho oleaje se obtiene propagando desde aguas profundas de forma que se produzca la altura de ola mayor, quedando así del lado de la seguridad.

Además, cabe destacar que con tal de diseñar de manera adecuada el dique, se realiza una división de este en diferentes tramos con la finalidad de obtener un diseño óptimo. El diseño de las secciones se realizará para cada uno de los tramos que dividen el dique.

A continuación se puede ver representada gráficamente dicha división:

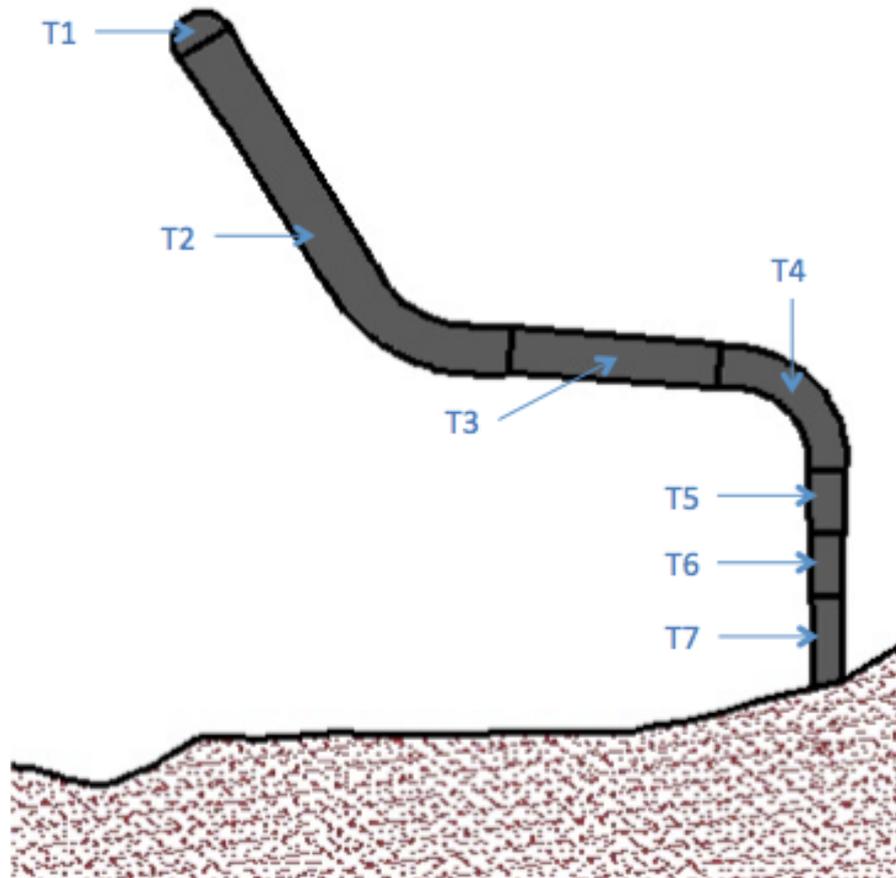


Figura 11. División en tramos del dique de Oriente

La longitud de cada uno de los tramos es:

Tramo	Longitud (m)
1	$L_{\text{morro}}$
2	$1449 - L_{\text{morro}}$
3	806
4	498
5	200
6	200
7	287

Dada la distribución en planta que se tiene, existe una zona en este dique que puede ser afectada por la difracción del oleaje, lo cual puede producir una reducción considerable de la sección de dique necesaria en dicha zona. Para tener en cuenta este fenómeno se han utilizado los ábacos de Wiegel.

Una vez realizado esto, ya se está en disposición de asignar el oleaje de diseño a cada uno de los tramos definidos. Las alturas de ola correspondientes al oleaje de diseño pueden estar referenciadas a pleamar o a bajamar, siendo estas:

- Oleaje de diseño para cada tramo (pleamar):

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
H <sub>d</sub> (m)	14,69	14,69	13,89	13,89	8,57	7,28	5,92

- Oleaje de diseño para cada tramo (bajamar):

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
H <sub>d</sub> (m)	14,45	14,45	12,18	12,18	6,88	5,59	4,25

Los materiales utilizados para la construcción de los diques tendrán diferentes características. En la siguiente tabla se pueden apreciar las características de los principales materiales:

	Densidad (Tn/m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Peso mínimo (kg)	Peso máximo (Tn)
Hormigón Espaldón	2,3	0	-	-
Hormigón Cubípodos	2,3	40	-	200
Hormigón Cubos	2,3	40	-	200
Escollera	2,7	38	-	6
Todo Uno	2,7	3,5	1	-

Una vez recopilados todos estos datos, ya se está en disposición de abordar el cálculo del dique, considerando la estabilidad hidráulica del manto principal (con lo cual se determina tanto el peso de las piezas como el diámetro de cada una de ellas), la estabilidad hidráulica de la berma (con lo cual se determina la pendiente de los taludes de la berma) y el rebase (con lo cual se determina el caudal de rebase y la cota de coronación de la estructura).

Para determinar este último, es necesario conocer el oleaje para cada tramo para un período de retorno de 1 año. En la siguiente tabla se recogen los valores del oleaje tanto para T = 500 años como para T = 1 año:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
$H_{d\_T=500 \text{ años}} \text{ (m)}$	14,69	14,69	13,89	13,89	8,57	7,28	5,92
$H_{d\_T=1 \text{ años}} \text{ (m)}$	7,05	7,05	7,24	7,24	7,24	7,24	5,92

Con dichos datos se pueden calcular los caudales de rebase asociados a cada tramo y la cota de coronación para cada uno de ellos.

Además, se deben de diseñar debidamente las capas que servirán de filtro al dique, las cuales se definirán en función del peso de las piezas del manto principal. Para la primera capa de filtro se escogerá un ratio de 1/10, para la segunda de 1/200 y para el núcleo estará entre 1/200 y 1/4000.

Cabe comentar que el tamaño mínimo de escollera a disponer en el núcleo será de 1 Kg y el máximo de 6 Tn. El espesor mínimo de las capas de filtro será de 1 m.

Finalmente se presentan a modo de resumen las tablas correspondientes a los valores obtenidos de cada uno de los aspectos citados.

- Dimensiones y pesos de las capas:

Tramo	Capa	W	e (m)	nº capas	Material	$\rho$ (Tn/m <sup>3</sup> )
<b>Tramo 1 (Morro)</b>	Manto <sub>Mar</sub>	187 Tn	8,21	2	Cubípodo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	20 Tn	3,90	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	500 - 1500 kg	1,44	2	Escollera	2,7
	Núcleo	50 - 900 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Interior</sub>	20 Tn	3,90	2	Cubo 2	2,7
	Filtro II <sub>Interior</sub>	500 - 1500 kg	1,44	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 2</b>	Manto <sub>Mar</sub>	91 Tn	6,82	2	Cubípodo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	10 Tn	3,26	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	250 - 750 kg	1,14	2	Escollera	2,7
	Núcleo	25 - 400 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Interior</sub>	10 Tn	3,26	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Interior</sub>	250 - 750 kg	1,14	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 3</b>	Manto <sub>Mar</sub>	77 Tn	6,45	2	Cubípodo 2	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	8 Tn	3,03	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	200 - 600 kg	1,06	2	Escollera	2,7
	Núcleo	20 - 350 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Interior</sub>	8 Tn	3,03	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Interior</sub>	200 - 600 kg	1,06	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 4 (Tramo Curvo)</b>	Manto <sub>Mar</sub>	158 Tn	7,76	2	Cubípodo 2 ( $\uparrow\rho$ )	2,7
	Filtro I <sub>Mar</sub>	16 Tn	3,82	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	400 - 1200 kg	1,33	2	Escollera	2,7
	Núcleo	50 - 700 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Mar</sub>	16 Tn	3,82	2	Cubo 2	2,3
	Filtro II <sub>Mar</sub>	400 - 1200 kg	1,33	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 5</b>	Manto <sub>Mar</sub>	42 Tn	2,63	1	Cubípodo 1	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	5 Tn	2,46	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	150 - 350 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	15 - 200 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Interior</sub>	5 Tn	2,46	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Interior</sub>	150 - 350 kg	1,00	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 6</b>	Manto <sub>Mar</sub>	26 Tn	2,24	1	Cubípodo 1	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	3 Tn	2,07	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	100 - 300 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	10 - 100 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Interior</sub>	3 Tn	2,07	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Interior</sub>	100 - 300 kg	1,00	2	Escollera	2,7
<b>Tramo 7</b>	Manto <sub>Mar</sub>	28 Tn	4,60	1	Cubípodo 1	2,3
	Filtro I <sub>Mar</sub>	3 Tn	2,07	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Mar</sub>	75 - 225 kg	1,00	2	Escollera	2,7
	Núcleo	10 - 120 kg	-	-	Todo uno	2,7
	Filtro I <sub>Interior</sub>	3 Tn	2,07	2	Escollera	2,7
	Filtro II <sub>Interior</sub>	75 - 225 kg	1,00	2	Escollera	2,7

- Características de la berma:

Tramo	Tipo	W (Tn)	h (m)	$h_t$ (m)	$h_t/h$	B (m)	hb (m)
<b>1 (Morro)</b>	Cubo 1	17	17,00	10,16	0,6	7,79	5,84
<b>2</b>	Cubo 1	17	17,00	10,16	0,6	7,79	5,84
<b>3</b>	Escollera	6	14,00	9,09	0,65	5,22	3,91
<b>4 (Tramo Curvo)</b>	Escollera	6	14,00	9,09	0,65	5,22	3,91
<b>5</b>	Escollera	1	8,00	4,85	0,61	2,87	2,15
<b>6</b>	Escollera	0,5	6,50	3,79	0,58	2,28	1,71
<b>7</b>	Escollera	0,3	5,00	2,56	0,51	1,92	1,44

- Comprobación de rebase:

Tramo	Rc (N.B.M.) (m)
<b>1 (Morro)</b>	24,01
<b>2</b>	24,01
<b>3</b>	22,81
<b>4 (Tramo Curvo)</b>	22,81
<b>5</b>	14,83
<b>6</b>	12,89
<b>7</b>	10,85

## 7. Valoración económica de las obras

En el documento “4. Valoración económica de las obras” figuran las mediciones realizadas de las diferentes unidades de obra, así como el coste de cada una de ellas. Con estos datos se permite realizar una valoración económica de las obras, de modo que se tenga una visión general del coste total de la infraestructura a realizar. Dada la extensión que tiene este estudio, resulta más obvio realizar una valoración general frente a un presupuesto de ejecución material de las obras, en el cual se detallan más estos aspectos.

A continuación y a modo de resumen, se muestra una tabla donde se detalla el coste de las obras:

- Dique de Poniente:

Tramo	Coste de ejecución (€)
1	4970502
2	24065380
3	108866345
4	26387305
5	21593328
6	28414466

<b>TOTAL</b>	<b>214.297.326</b>
--------------	--------------------

- Dique de Oriente:

Tramo	Coste de ejecución (€)
1	4348414
2	124214204
3	58763353
4	39313293
5	7460420
6	6229081
7	7503725

<b>TOTAL</b>	<b>247.832.490</b>
--------------	--------------------

<b>Presupuesto TOTAL de ejecución (€)</b>	<b>462.129.816</b>
---	--------------------

## 8. Documentos de que consta el estudio

Los documentos que conforman este estudio se dividen en 5 bloques, los cuales se detallan a continuación:

### DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

**DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO DE SOLUCIONES**

- Descripción del proyecto base
- Estudios previos
- Análisis del proyecto base
- Planteamiento y elección de alternativas

**DOCUMENTO N° 3: DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA**

- Desarrollo de la alternativa elegida (Dique de Poniente)
- Desarrollo de la alternativa elegida (Dique de Oriente)

**DOCUMENTO N° 4: VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS**

- Valoración económica de las obras (Dique de Poniente)
- Valoración económica de las obras (Dique de Oriente)

**PLANOS**

- Plano n° 1: Situación y emplazamiento
- Plano n° 2: Batimetría
- Plano n° 3: Trazado en planta
- Plano n° 4: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T1
- Plano n° 5: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T2
- Plano n° 6: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T3
- Plano n° 7: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T4
- Plano n° 8: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T5
- Plano n° 9: Desarrollo de la alternativa (Poniente): Sección T6
- Plano n° 10: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T1
- Plano n° 11: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T2
- Plano n° 12: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T3
- Plano n° 13: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T4
- Plano n° 14: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T5
- Plano n° 15: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T6
- Plano n° 16: Desarrollo de la alternativa (Oriente): Sección T7

**9. Legislación y normativa vigente utilizada en la redacción del estudio****Normativas portuarias**

- “Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo” en su edición de 2009, de las Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 2.0-11) de Puertos del Estado, editado por el Ministerio de Fomento de España.
- “*Shore Protection Manual. Design of Coastal Project Elements (Part VI)*”, en su edición de 2006, del *Coastal Engineering Research Center (CERC) Department of the U.S. Army Corps of Engineers*.

#### Otros documentos de apoyo

- Herramienta informática “*Visor C3A*” para la evaluación de impactos del cambio climático en zonas costeras, editado por la Oficina Española de Cambio Climático (dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España) y el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.
- Web: “National Data Bouy Center”
- Aplicación informática “Wave Calculator” desarrollada por la universidad de Delaware (EE.UU)

## 10. Conclusiones

Durante el desarrollo de este documento se ha realizado un estudio exhaustivo de todos los aspectos que se pueden hacer para poder contrastarlos con la información de partida que se tiene (proyecto base).

Este trabajo se tiene que realizar habitualmente, es decir, no siempre se dispone de los datos necesarios para llevar a cabo un diseño de una estructura; y en caso de disponer de dicha información, ésta debe de ser evaluada y cuestionada para verificar que los datos son válidos para ser utilizados.

A todo esto se le añade la dificultad para la toma de datos en la zona de estudio, debido a:

- Oleaje en una zona donde no se tiene información instrumental.

- Existe la posibilidad de ocurrencia de huracanes, con todo lo que ello supone, tanto para el oleaje como para la seguridad en general de la estructura. Estos fenómenos son muy aleatorios.
- Los datos de partida que se tienen no están referenciados y por tanto no se sabe cuál es la fuente.
- No existe información del carácter de la obra.

En definitiva, en la información de partida el clima marítimo venía definido de forma muy pobre e incompleta, siendo este documento primordial para llevar a cabo el diseño de las obras.

Por tanto, se ha tenido disponible una información de partida, pero esta información ha servido para muy poco, básicamente para saber cuál era la necesidad del cliente.

Po último cabe añadir que los datos que se han adoptado finalmente o se han supuesto, en todo caso estarán del lado de la seguridad.

---

Se consideran suficientemente definidos y detallados todos los documentos que integran este Estudio de Soluciones, es decir, todo lo expuesto en esta memoria y sus documentos anexos. Este estudio ha sido redactado de acuerdo con las Normas Técnicas y Administrativas en vigor. Es por ello que se somete a la aprobación por parte del tribunal si procede.

Valencia, Junio 2016

Los autores del estudio,

**Fdo: Antoni Germà Arnau Colomer**

**Carlos Juan Sánchez Navarro**